



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

RAMI HONGISTO  
MUUNNELTAVAN KOEAJOLAITTEISTON SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: apulaisprofessori Tero Juuti  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
28. helmikuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**HONGISTO RAMI:** Muunneltavan koeajolaitteiston suunnittelu

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 73 sivua, 0 liitesivua

Toukokuu 2018

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotekehitys

Tarkastaja: Apulaisprofessori Tero Juuti

**Avainsanat:** Tuotekehitys, Brownfield-prosessi

Työssä käsiteltiin massaräätälöidyn tuotteen aiheuttaman modulaarisuuden hallintaa. Massaräätälöinnillä pyritään hyödyntämään massatuotannon tehokkuutta silti tarjoten asiakasvaatimukset täyttäviä erilaisia tuotevariaatioita. Työn tavoitteena oli suunnitella koeajolaitteisto massaräätälöitävän tuoteperheen tuotteille, mikä soveltuu Konecranes Hämeenlinnan tehtaan tuotantoprosessiin. Testauslaitteisto tulee toimimaan osana tuotantoprosessia ja kattaa kohteeksi valitun tuoteperheen mahdollisimman lyhyillä asetusajoilla eri laitteistojen ja eri tuotevarianttien välillä.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin tapaustutkimusta. Tutkimusaineisto kerättiin haastatteleamalla yrityksen asiantuntijoita, perehtymällä testattavaan tuotteeseen ja sen valmistus- ja koeajoprosessiin sekä nykyisiin koeajolaitteistoihin.

Työn teoriaosuudella luotiin pohja tutkimukselle. Teoriaosuudessa tutkittiin Brownfield-prosessiin liittyviä materiaaleja, toimintatapoja ja näihin liittyviä teorioita. Teorian jälkeen käsiteltiin itse Brownfield-prosessin askeleet ja linkitettiin ne teoriaan. Työn Brownfield-prosessin soveltavassa osuudessa käytettiin teoriassa esitettyjä toimintamalleja. Tässä esiteltiin muun muassa DSM-matriisi, integroitu PKT-lähestyminen ja PMFP-malli. Työn lopussa pohdittiin Brownfield-prosessin soveltuvuutta juuri tähän suunnitteluongelmaan ja vertailtiin kirjallisuudesta löytyviin aiempiin tutkimuksiin.

Lopputuloksena saatiin ehdotus testauslaitteiston moduulirakenteen alustavasta arkkitehtuurista ja suunnitteluperusteista. Tämä ehdotus luotiin täyttämään kaikki määritellyt asiakastarpeet siten, että yrityksen omat tavoitteet testausprosessin suhteen pystyttiin toteuttamaan.

## ABSTRACT

**HONGISTO RAMI:** Design of a modifiable test drive system

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 73 pages, 0 Appendix pages

May 2018

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Product Development

Examiner: Assistant Professor Tero Juuti

Keywords: Product development, Brownfield process

The study focused on the modularity management of a mass customized product. Mass customization aims to utilize the mass production efficiency while still offering the different customer requirements that meet defined product range. The aim of the thesis was to design a test drive system for the products of a mass customized product family, which is suitable for the production process of Konecranes in the Hämeenlinna factory. The testing equipment will function as part of the production process and cover the selected product family as short as possible setting times between the different devices and different product variants.

A case study was used as a research method. The material was collected by interviewing experts, acquainted with the product being tested, its manufacturing and testing process and the current test equipment.

Theoretical part of the thesis created the basis for research. The theoretical part studied the materials, methods and theories related to the Brownfield process. After the theory, the Brownfield process itself was handled and linked to the theory. The applied part of the Brownfield process used methods of operation that were presented in accordance with the theory. This included the DSM matrix, the integrated PKT approach and the PMFP model. At the end of the thesis, the suitability of the Brownfield process is considered precisely for this design problem and compared to the literature found in previous studies.

As a result, a proposal for a modular design of the test equipment was obtained from the preliminary architecture and design basics. This proposal was created to meet all defined customer needs so that the company's own goals in relation to the testing process could be implemented.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Konecranesille Hämeenlinnan nostintehtaalle. Työssä käsitellään koeajolaitteiston suunnittelua uuden tuoteperheen nostinten testausprosessiin.

Suuri kiitos kuuluu vanhemmilleni kaikesta tuesta reilun kaksikymmentä vuotta kestäneen opiskelutaipaleen ajalta. Kiitän työn etenemiseen johtaneesta avusta Hyvinkään tuotekehityksestä Matti Paakkunaista ja Mats Åkessonia. Tämän lisäksi haluan kiittää Hämeenlinnan tehtaalta työn etenemiseen osallistuneita, erityisesti ohjaajaani Kalle Päivärintaa. Tämän lisäksi halua kiittää Tampereen teknillisen Yliopiston apulaisprofessoria Tero Juutia.

Tampereella, 17.5.2018

Rami Hongisto

# SISÄLLYSLUETTELO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.      | JOHDANTO .....  | 1  |
| 2.      | TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUS.....                                 | 2  |
| 3.      | KIRJALLISUUSKATSAUS .....   | 3  |
| 3.1     | Tuotteen kuvaaminen .....   | 3  |
| 3.1.1   | Theory of Technical systems (TTS).....                                | 3  |
| 3.1.2   | Theory of Domains (ToD) .....   | 4  |
| 3.2     | Konfiguroitavan tuotteen suunnittelu.....                             | 5  |
| 3.3     | Standardisointi.....  | 7  |
| 3.4     | Massaräätälöinti .....  | 8  |
| 3.5     | Modulaarisuuden eri muodot .....                                      | 9  |
| 3.6     | Company Strategic Landscape (CSL).....                                | 12 |
| 3.7     | Cause-and-effect diagrammi .....                                      | 15 |
| 3.8     | Integroitu PKT.....   | 17 |
| 3.9     | Tuoteperheiden kehitys arkkitehtuurin perusteella (PMFP) .....        | 19 |
| 3.10    | Design structure matrix (DSM).....                                    | 23 |
| 3.11    | K&V matriisimetodi.....   | 25 |
| 3.12    | Brownfield -prosessi .....  | 26 |
| 3.12.1  | Askel 1: Liiketoimintaympäristöön perustuva tavoitteiden asetus ..... | 27 |
| 3.12.2  | Askel 2: Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli .....          | 29 |
| 3.12.3  | Askel 3: Arkkitehtuurin geneeriset elementit ja rajapinnat .....      | 30 |
| 3.12.4  | Askel 4: Tavoitteiden asetus asiakasympäristöön perustuen .....       | 32 |
| 3.12.5  | Askel 5: Alustava tuoteperheen kuvaus .....                           | 33 |
| 3.12.6  | Askel 6: Alustavan konfiguraatiodon määrittäminen .....               | 35 |
| 3.12.7  | Askel 7: Moduulien ja rajapintojen määrittäminen.....                 | 37 |
| 3.12.8  | Askel 8: Konfiguraatiodon lopullinen määrittäminen .....              | 40 |
| 3.12.9  | Askel 9: Tuoteperheen dokumentointi.....                              | 41 |
| 3.12.10 | Askel 10: Liiketoimintavaikutusten arviointi .....                    | 42 |
| 4.      | TUTKIMUSSTRATEGIA JA MENETELMÄT .....                                 | 43 |
| 5.      | YRITYKSEN JA AINEISTON ESITTELY .....                                 | 44 |
| 6.      | SUUNNITTELUA KÄYTTÄEN BROWNFIELD-PROSESSIA.....                       | 47 |
| 6.1     | Liiketoimintaympäristöön perustuva tavoitteiden asetus.....           | 47 |
| 6.2     | Tavoitteiden asetus asiakasympäristöön perustuen.....                 | 53 |
| 6.3     | Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli .....                   | 56 |
| 6.4     | Arkkitehtuurin geneeriset elementit ja rajapinnat .....               | 59 |
| 6.5     | Alustava tuoteperheen kuvaus.....                                     | 62 |
| 6.6     | Alustavan konfiguraatiodon määrittäminen .....                        | 64 |
| 6.7     | Moduulien ja rajapintojen määrittäminen .....                         | 65 |
| 7.      | TULOKSET .....  | 66 |
| 8.      | JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET .....                         | 70 |
| 9.      | VERTAILU AIEMPIIN TUTKIMUKSIIN.....                                   | 71 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 10. YHTEENVETO ..... | 72 |
| LÄHTEET .....        | 73 |

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

|                      |  |
|----------------------|--|
| Asetusaika           | On ajallinen kesto edellisen ja seuraavan tuotantoerän välillä.  |
| Brownfield           | Brownfield-prosessi modulaarisuuden suunnitteluun  |
| Black Box            | Teoria teknisen systeemin kuvaamisesta muutosprosessina  |
| Cause-and-effect     | Työkalu teknisen systeemin yhteisten piirteiden avulla saavutetun varioinnin hyötyjen tunnistamiseen.                |
| CSL                  | Company Strategic Landscape -työkalu liiketoimintaympäristöön perustuvaan tavoitteiden asetukseen.                   |
| DSM                  | Design Structure Matrix -työkalu moduulijaon muodostamiseen  |
| Moduuli              | Toiminnallinen kokonaisuus, joka omaa standardoidut rajapinnat muiden moduulien tai osien kanssa.                    |
| MTBF                 | Mean time between failures, keskimääräinen aika laitteen vikaantumiseen sen edellisen vikaantumistilan loppumisesta. |
| PKT                  | Integrated PKT-teoria modulaarisen arkkitehtuurin kehittämiseen.   |
| PMFP                 | Product family master plan -teoria arkkitehtuuriin perustuvalle tuoteperheen määrittelykselle.                       |
| Rajapinta            | Yhtymäkohta joka mahdollistaa modulaarisuuden ja jonka läpi virtaa energiaa, informaatiota tai materiaalia.          |
| ToD                  | Theory of Domains -teoria, kuvaa suunnitteluprosessin etenemistä eri näkökulmista.                                   |
| TTS                  | Theory of Technical System -teoria kuvaa teknisen systeemin muutosprosessina.  |
| Geneerinen elementti | Osasysteemeistä tai osista koostuva toiminnallinen kokonaisuus.  |
| 1KC                  | oneKonecranes-konsepti on yrityksen toimintatapojen yhdenmukaistamiseen.   |

# 1. JOHDANTO

Työssä tutkitaan tarpeet täyttävän moduulirakenteen suunnittelemista massaräätälöidyn nostintuoteperheen testauslaitteistolle. Työ toteutetaan Konecranesin Hämeenlinnan nostintehtaalte. Tutkimus toteutetaan tapaustutkimuksena, jossa tutkitaan nykyistä testaukseen kohdetuoteperhettä, koeajolaitteistoja ja tämän lisäksi tutustutaan uuden tuoteperheen olemassa oleviin tuotteisiin ja spekseihin. Tutkimuksen tavoitteena on saada vastaus seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Millainen jakologiikka testauslaitteistolla tulee olemaan?
- Miten saavutetaan testauslaitteisto halutuilla ominaisuuksilla, joka soveltuu tuotantoprosessiin?

Liiketoimintaympäristön ja elinkaaren aikaiset asiakastarpeet huomioon ottava tuotearkkitehtuuri on tärkeää yrityksen toiminnan kannalta. Testattavassa massaräätälöitävässä tuotteessa voi esiintyä asiakastarpeiden muutoksia ja näihin varautuminen on olennaista kilpailukyvyn säilyttämiseksi markkinoilla.

Brownfield-prosessi on suhteellisen uusi metodi, joten siitä ei löydy vielä paljoa kirjallisuutta ja aiempia case-esimerkkejä. Tämän tutkimuksen tuloksena saadaan yksi tapaus, jossa Brownfield-prosessia on hyödynnetty tuotteen toiminnallisuuden hallinnan kautta esitetyn moduulirakenteen ja tuotearkkitehtuurin alustavan asiakastarpeet huomioon ottavan kuvauksen luontiin.



## 2. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUS

Tämän työn tavoitteena oli kehittää Konecranes Hämeenlinnan tehtaan tuotantoprosessiin sopiva muunneltava testauslaitteisto, joka kattaa massaräätälöidyn tuoteperheen testausprosessin ja tähän liittyvät testattavan tuotteen ominaisuuksista johtuvat muuttuvat tarpeet. Tarkoituksena oli muodostaa alustava ehdotus tuotearkkitehtuurista, moduuleista ja moduulijaosta. Suunnitteluprosessin tukena käytettiin Brownfield-prosessia. Työn tarkoituksena oli lisäksi antaa esimerkkitapaus systemaattisesta ja johdonmukaisesta tavasta lähestyä modulaarista tuotekehitystapausta. Tutkimus toimii jatkossa esimerkkinä prosessin käytölle tuotekehitykseen liittyvissä projekteissa.

Tutkimuksellisesti työ rajattiin Brownfield-prosessin alkupään askeleisiin. Itse tuotteen kehityksessä rajausta määritettiin moduulijakoon ja varsinainen arkkitehtuurin mallinnus tapahtui tämän työn jälkeisissä vaiheissa. Brownfield-prosessin askeleita 7-9 lähinnä sivuttiin ja muun muassa askeleen kymmenen liiketoiminnan analyysi jäi kokonaan pois tarkastelusta.

### 3. KIRJALLISUUSKATSAUS

Teoriaosuus käsittelee tuotteen kuvaamista, tuotearkkitehtuuria, modulaarisuuden erilaisia muotoja. Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi teorioita ja käsitteitä liittyen modulaarisen tuotteen suunnitteluun. Teoriaosuudessa käsitellään myös Brownfield-prosessin teoria ja linkataan tämä aiemmin käsiteltyihin osuuksiin.

#### 3.1 Tuotteen kuvaaminen

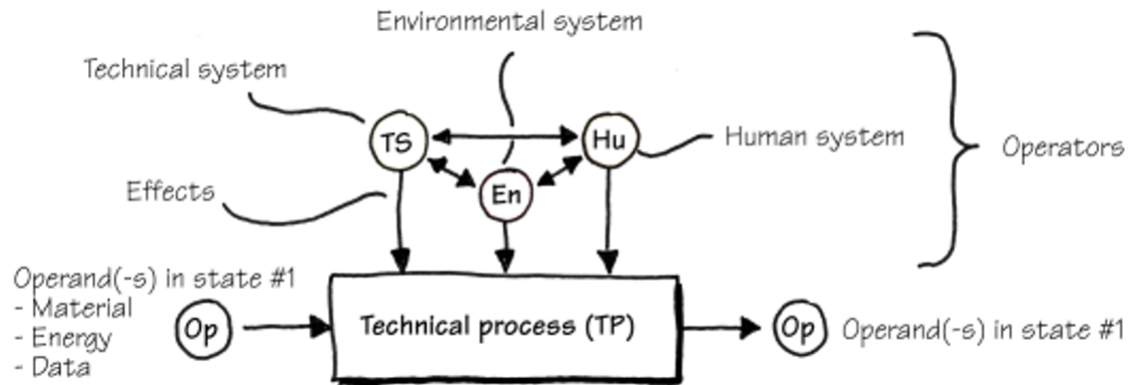
Tekniset järjestelmät koostuvat kokonaisuuksia muodostavista osista, jotka toteuttavat erilaisia toimintoja. Näiden järjestelmien kehittämiseen ja hallitsemiseen on tarjolla erilaisia teorioita, joita esitellään tässä kappaleessa.

##### 3.1.1 Theory of Technical systems (TTS)

TTS on teknisen järjestelmän suunnittelua kuvaava teoria. Teoria antaa kehyksen teknisille järjestelmille ja siihen, miten näiden ominaisuuksiin vaikutetaan suunnittelun näkökulmasta. Teoria ei mahdollista suunnittelun arvon määrittämistä. (Luentokalvot 2018.)

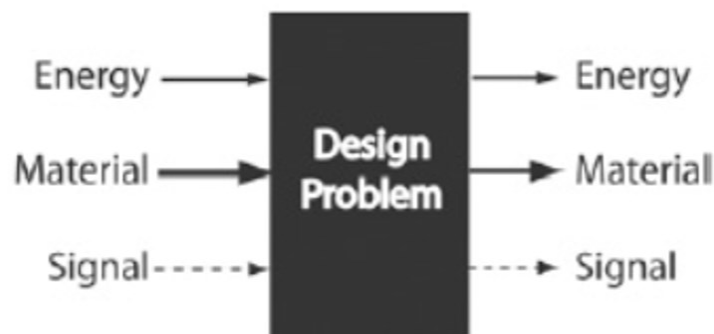
Theory of technical systems (TTS) eli teknisen systeemin teoria. Käytännön tietämys vaatii teoreettista tutkimusta, jotta ilmiötä voidaan ymmärtää paremmin. Tämän lisäksi se toimii myös koulutuksen ja kommunikaation työkaluna. Teoria käyttää tarpeita ja vaatimuksia perustana ja tarpeen täyttö on siirtyminen tyydyttymättömästä alkutilasta tyydyttyneeseen lopputilaan. Alku ja lopputilan siirtymisen välillä on useita välitiloja. Teknisiä systeemejä ei tule kategorioida täytäntöönpanon vaan käyttötarkoitusten mukaan. Lähestymistapa luo kolme selkeää etua. Teoria luo relaatiot kaikille teknisille toteutuksille, mikä tarkoittaa teknisen systeemin käsittelyä kokonaisuudessaan eikä pelkästään yksittäisten osien suunnittelua. (Lehtonen 2007, s.12–14.)

Tekninen prosessisysteemi koostuu neljästä alisysteemistä, tuotteesta, käyttäjästä, ympäristön vaikutuksesta ja teknisestä prosessisysteemistä. Teknisessä prosessissa on yksi tai useampi syöte, jotka muuttuvat prosessissa tuloiksi. Syötteet voivat olla tietoa, materiaalia tai energiaa (Kuva 1). Prosessin mahdollistaa yksi tai useampi operaattori, jotka voivat olla, tekninen systeemi, ympäristö tai ihminen. Näiden merkitys on tärkeä halutun prosessin saavuttamiselle. (Harlou 2006, s.30.)



**Kuva 1.** Theory of technical system (Harlou 2006, s.30).

Black box-teoria on teknisen systeemin käsittelytapa, joka vastaa Theory of Technical system-teoriaa. Teoriassa muutosprosessin kuvaus koostuu sisään- ja ulostulevista suu- reista. Nämä tulot voidaan jakaa kolmeen kategoriaan, energia, materiaali ja signaali. Black box-teoriassa havainnollistetaan materiaalien, energian ja signaalien virtaaminen mustan laatikon lävitse (Kuva 2). (Orgot 2005.)



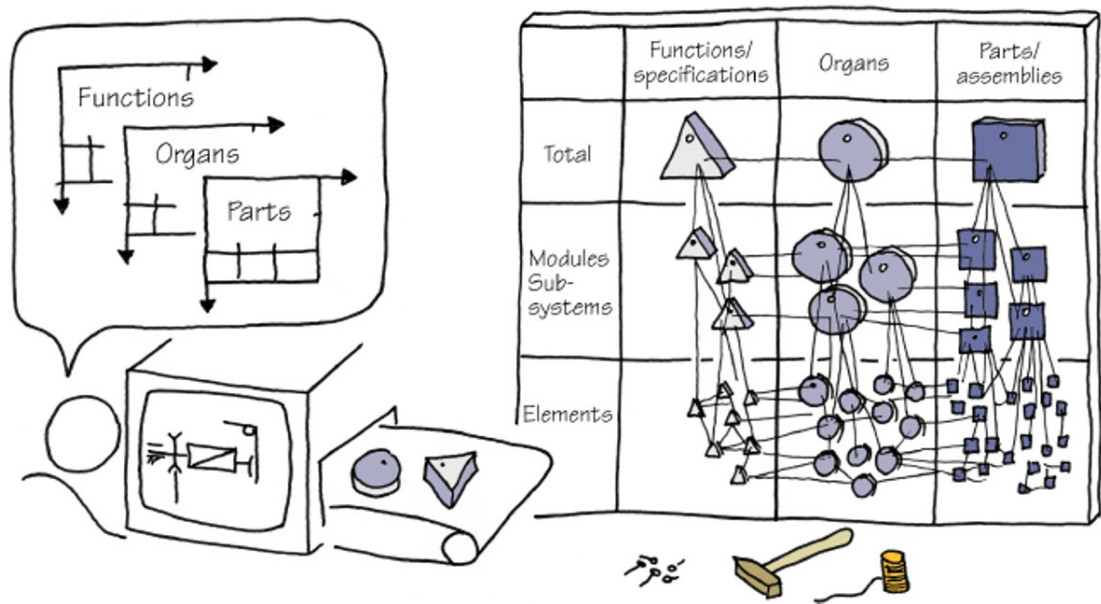
**Kuva 2.** Black box-teorian yleinen malli (Orgot 2005, s.3).

### 3.1.2 Theory of Domains (ToD)

Theory of Domains kuvaa tuotteen asteittaista kehittämistä, jossa määrittäminen tarkentuu vai- heina. Adressen (2011) kuvaa suunnittelun etenemisen kolmella eri näkökulmalla. Nämä näkökulmat ovat prosessi-, elin- ja osanäkökulma. Hän näkee virheenä käsitellä toimin- toja (function domain) neljäntenä tilana. (Andreasen 2011, s.307.)

Teoria on tapa kuvata miten asiakas käyttää tuotetta ja teoriaa voidaan käyttää havainnol- listamaan erilaisten toiminallisuuden onnistumista tuoteperheellä. Elintilojen (organ) ja toimintotilojen (function) tarkoituksena on muodostaa pohja standardipiirteiden löytämi- selle suunnittelussa, moduuleissa tai alustoissa (platform). On olemassa prosessin alue (process domain), toiminnon alue (function domain), elimen alue (organ domain) ja osan

alue (part domain). Prosessien materiaali, tieto ja energia vaikuttavat tuotteen käyttöprosessiin. Toiminnon alue taas ottaa kantaa prosessissa tarvittaviin operaattoreihin, jotta haluttu lopputulos saadaan aikaiseksi. Toiminnot kuvaavat sitä mitä tuotteen tulee saada aikaiseksi. Elintila kuvaa eri kokonaisuuksien luomia elimiä ja vaikutuksia, joita kutsutaan myös operaattoreiksi. Elimet ovat materiaalielementejä tai vuorovaikutuksia usean eri materiaalialueen välillä. Tärkein syy ajatella malleja eliminä on toiminallisuuden selittäminen, jolloin osia ei mallinneta yksittäin. Osatapauksissa käsitellään elinten fyysinen toteutus, jossa määritellään materiaali, muoto, ulottuvuudet, toleranssit ja pinnanlaadun väliset suhteet eri osien välillä. (Harlou 2006, s.31.)

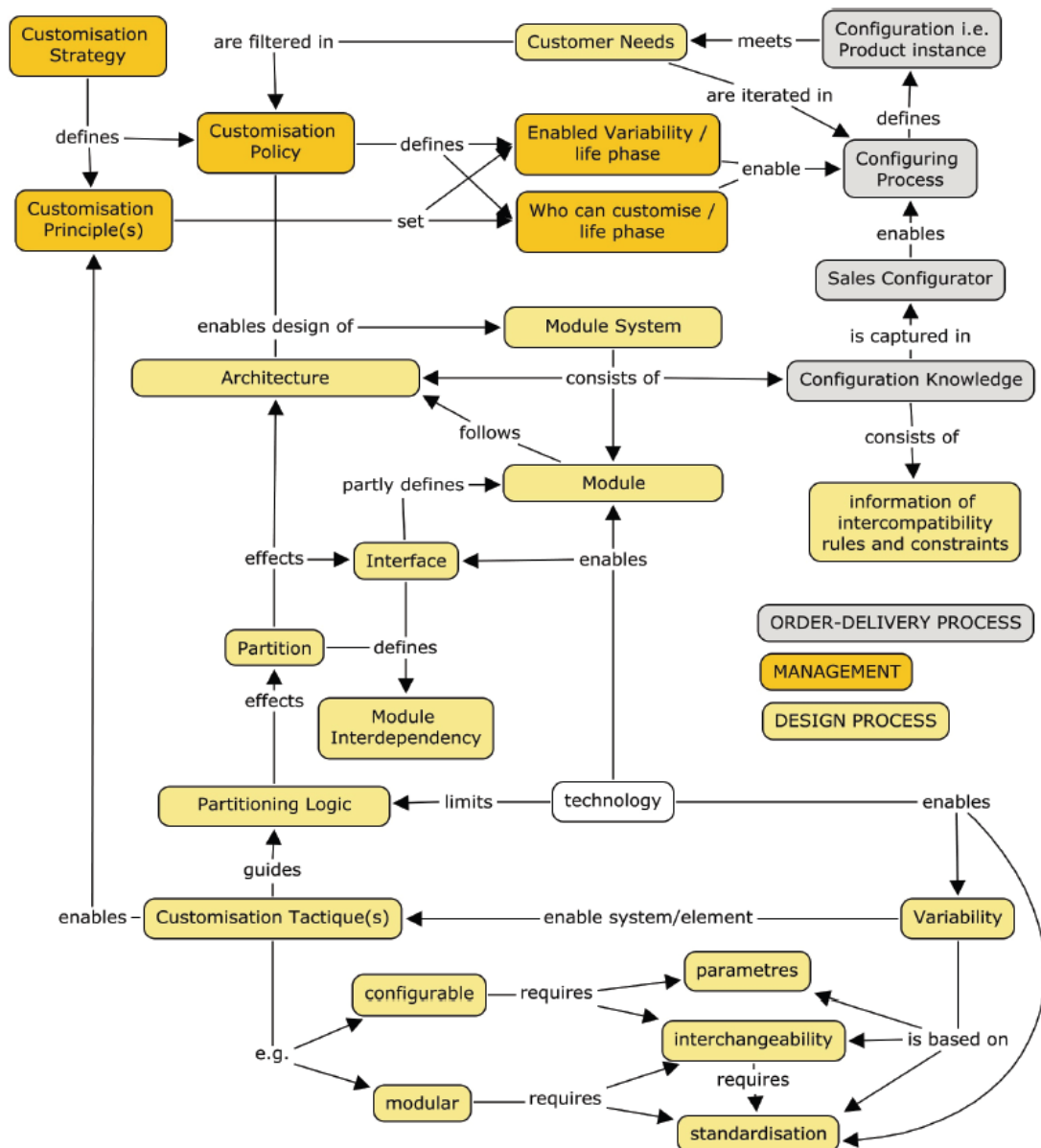


**Kuva 3.** Domain theoryn mukaisesti suunnittelukokonaisuuksiin (Harlou 2006, s.78).

Kuvan 3 on esimerkki domain theory:n käyttämisestä tuotteen jakamisessa osiin. Kuvassa esitetään suunnitteluyksiköt, joita ovat toiminto-, elin- ja osanäkökulma. Nämä suunnitteluyksiköt voivat pitää sisällään muita suunnitteluyksiköitä. Näiden kapselointi toistensa sisälle riippuu suunnittelijan näkökulmasta. Suunnitteluyksiköt jakavat relaatioita ylä- ja alatasojen kanssa ja elimet jakavat relaatioita eri toimintojen ja osien suunnitteluyksiköiden kanssa. (Harlou 2006, s.79.)

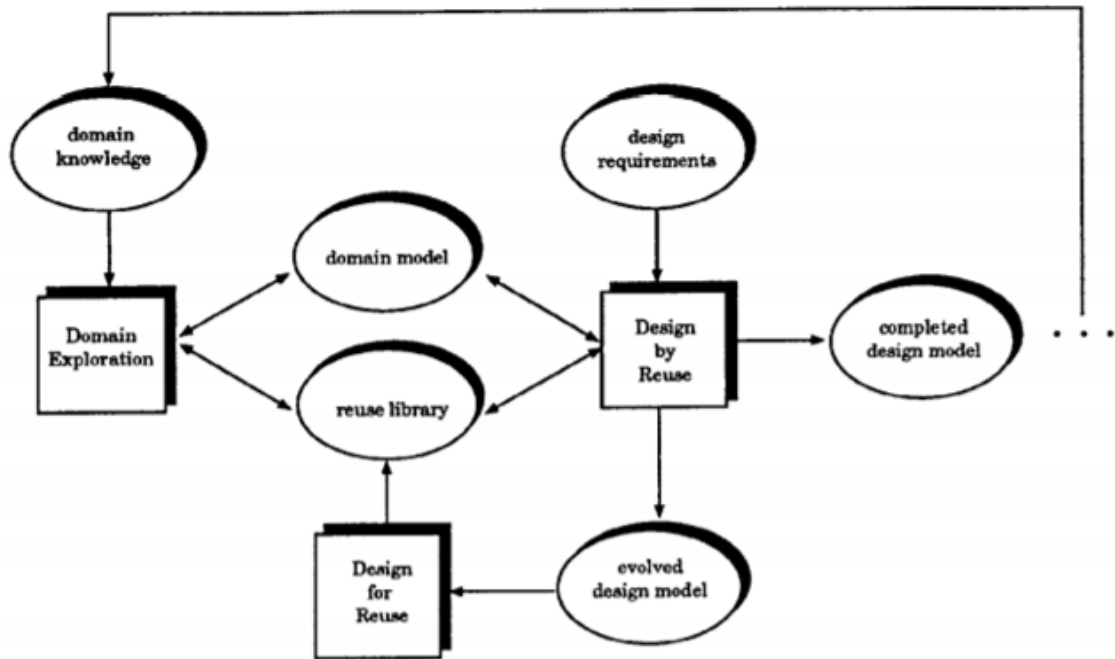
### 3.2 Konfiguroitavan tuotteen suunnittelu

Myyntikonfiguraatio pitää sisällään asiakastarpeet ja tämä konfiguraatiotieto yhdistyy tuotteen ominaisuuksiin ja tämän vuoksi onkin tärkeää tuntea näiden väliset relaatiot. Konfiguroitavan tuotteen erityispiirre on, että suunnitteluprosessi ja toimitusprosessi pysyvät erillään. Suunnitteluprosessi on jo valmis siinä vaiheessa, kun tuotekonfiguraatiota kootaan asiakkaan tarpeiden perusteella. Konfiguroitavan tuotteen avainkonseptissa harmaat laatikot kuuluvat tilauksen toimitusprosessiin, keltaiset kuuluvat suunnitteluprosessiin ja oranssit ovat hallinnollisia asioita (Kuva 4). (Juuti 2008, s.35–38.)



**Kuva 4.** Konfiguroitavan tuotteen avainkonseptit relaatioineen (Juuti 2008, s.37).

Konfiguroitavissa tuotteissa on ominaista, että tuotteen suunnittelu- ja tilausprosessi ovat erillään. Sillä tuotteen suunnitteluvaiheessa on jo otettu huomioon tilausprosessi ja mahdolliset konfiguraatiot. Näissä prosesseissa on eroavaisuuksia aiemmin suunnitellun uudelleen käytössä. Kuvan 5 mallissa suunnittelu uudelleen käytölle ja uudelleen käyttöön ovat eri lähestymistapoja, jotka soveltuvat kumpikin omaan lähtötilanteeseen, riippuen tavoitteista. (Juuti 2008. s.38–39.)



**Kuva 5.** Suunnittelun uudelleenkäyttömalli (Design Reuse Model) (Duffy, 1995).

Duffyn mukaan suunnittelun uudelleenkäytössä on kuusi resurssia (Kuva 5):

1. Alakohtainen tieto eli lähteitä vanhoihin suunnittelu- ja artefaktitietoihin.
2. Alakohtainen malli eli suunnittelijat käsittelevät nykyiseen tehtävään soveltuvan suunnittelualueen.
3. Uudelleen käyttökirjasto eli organisaation varasto, johon säilötään uudelleenkäytettävä tieto.
4. Suunnittelun vaatimukset eli se sisältää tiedon tarvittavasta suunnittelusta.
5. Kehittynyt suunnittelumalli, joka on kuvaus keskeneräisestä, ehdotetusta tai lopullisesta mallista millä tahansa tasolla.
6. Kokonainen suunnittelumalli eli uudelleen suunnittelun koko määritelmä.

(Duffy 1995.)

### 3.3 Standardisointi

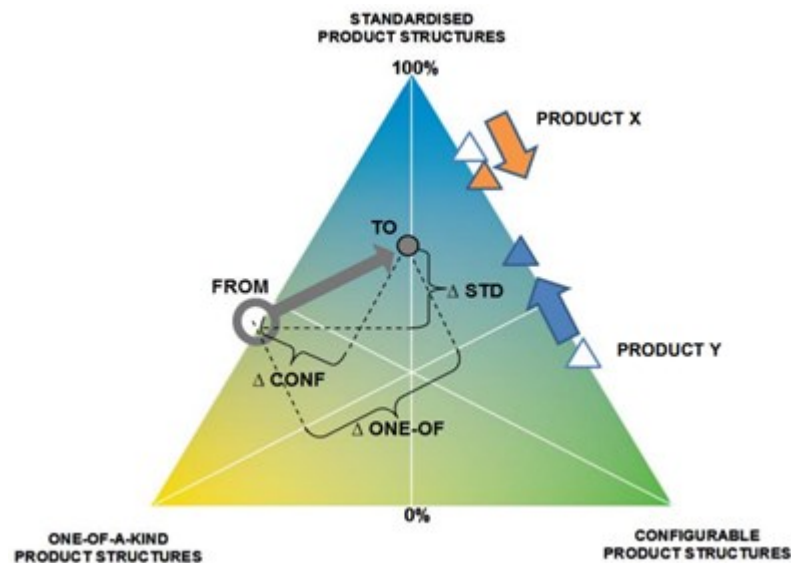
Perera (1999) määrittelee komponenttien standardisoinnin siten, että useampia komponentteja pystytään korvaamaan yhdellä komponentilla, joka pystyy toteuttamaan kaikki korvattujen komponenttien toiminnot. Komponenttien standardisointiin on kolme mahdollista tilannetta:

1. Komponentin standardisointi tuotteen sisällä, jolloin monta uniikkia komponenttia korvataan yleisellä komponentilla.
2. Komponentin standardisointi tuoteperheen sisällä, jolloin uniikit komponentit korvataan yleisellä komponentilla useassa kokoonpanossa.

3. Komponentin standardisointi usean sukupolven kesken, jolloin yleisiä komponentteja käytetään eri versioissa tuotteita koko elinkaaren aikana.

(Perera 1999.)

Osien toiminnollisuutta voidaan käsitellä myös kolmessa kategoriassa: mallikohtainen, yrityskohtainen ja alakohtainen. Mallikohtaisessa kategoriassa toiminnollisuus suunnitellaan vain yhdelle tuoteperheelle. Yrityskohtaisessa kategoriassa toiminnollisuus suunnitellaan niin että sitä käytetään useassa eri yrityksen mallissa. Alakohtaisessa kategoriassa toiminnollisuutta käytetään useissa eri yritysten malleissa. (Pakkanen 2015, s.50.)

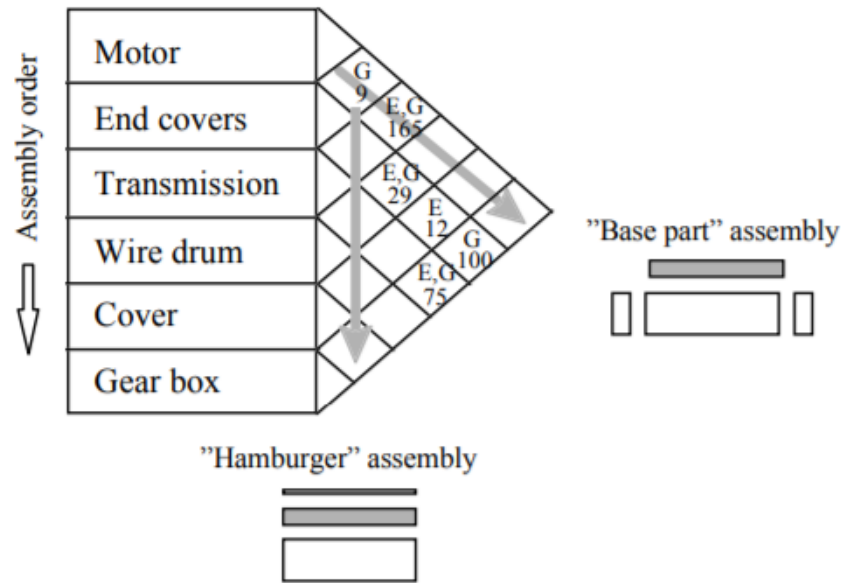


**Kuva 6.** Tuoterakenteen koostumus (Luentokalvot, 2018).

Kuvasta 6 on nähtävissä, etteivät standardisoitu, uniikki ja konfiguroitava tuoterakenne pysty saavuttamaan kaikkia etuja samaan aikaan, vaan näitä yhdistellessä syntyy kompromisseja näiden kesken.

### 3.4 Massaräätälöinti

Modular Function Deployment (MFD) koostuu viidestä askeleesta. Askeleissa selkeytetään asiakasvaatimukset, hahmotellaan tuoterakenne, valitaan tekniset toteutukset, luodaan konseptitoteutukset moduulirakenteelle, arvioidaan moduulirakennetta ja lopuksi tehdään moduulien hiominen. (Erixon 1998, s.65–66.)



**Kuva 7.** Rajapintojen arviointi (Erixon 1998, s.84).

Kuvan 7 rajapintojen arviointi antaa yleiskuvan eri rajapintojen yhteyksistä ja sen avulla arvioidaan luotua moduulirakennetta. Kuvassa oleva E kuvaa energian siirtymistä ja G kuvaa kiinnitysten välistä geometriaa. Asennuksen näkökulmasta voidaan todeta kaksi ideaalista lähestymistapaa, perusosakokoonpano ja hampurilaiskokoonpano. Nuolet esittävät hyvän kokoonpanojärjestyksen periaatteen ja numerot kuvaavat arvioituja asennusaikoja. Nuolien ulkopuolelle jäävät merkinnät eivät ole haluttuja ja näissä on potentiaalia rakenteen parannuksille. (Erixon 1998, s.84.)

### 3.5 Modulaarisuuden eri muodot

On olemassa ainakin kaksi eri modulaarisuuden kategoriaa: M-modulaarisuus eli muuntelumodulaarisuus ja elinkaarimodulaarisuus (Lehtonen 2007, s.48, 90).

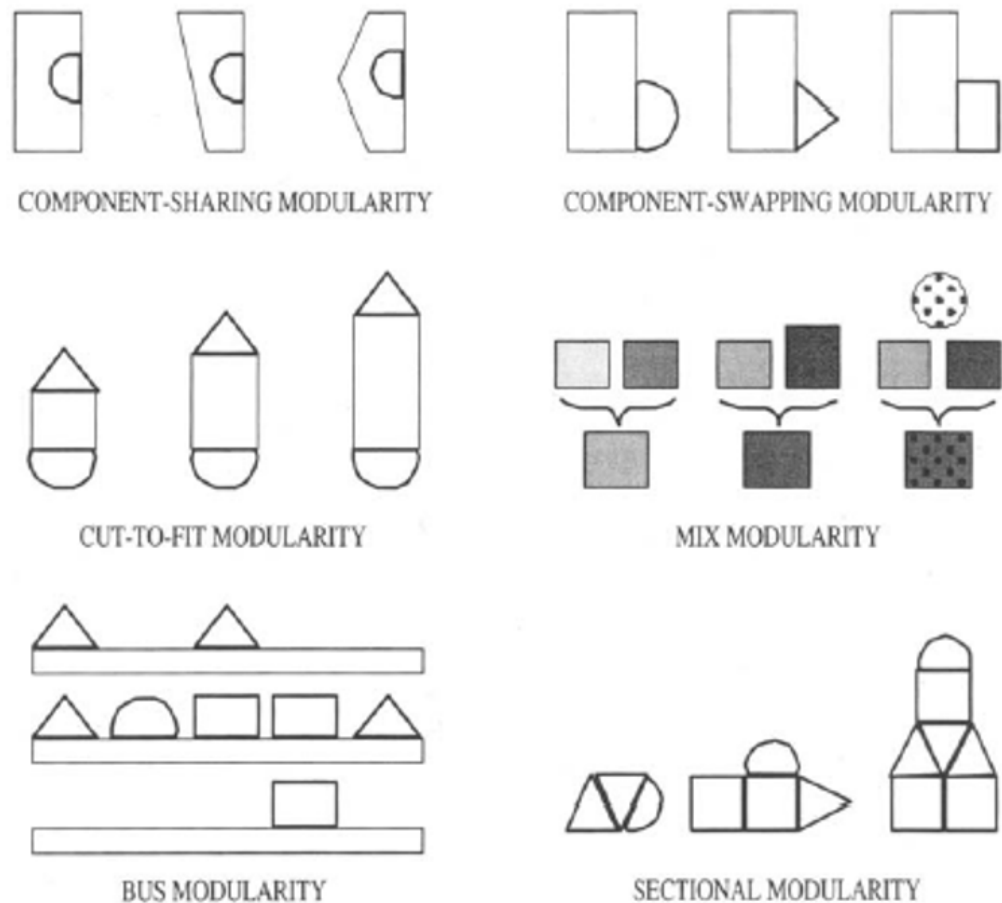
Lehtonen (2007) on kerännyt vaihtokelpoisuutta edustavat kuusi eri tyyppiä (Kuva 8.):

1. Komponenttien jakomodulaarisuus, jossa samaa komponenttia voidaan käyttää useassa eri tuotteessa.
2. Komponenttien vaihtomodulaarisuus, jossa komponenttia vaihtamalla perustuotteeseen saadaan luotua aina uusi tuote.
3. Parametrinen modulaarisuus, jossa yhden tai useamman komponentin mittoja muutetaan parametrisesti.
4. Sekoitettava modulaarisuus, jossa komponentteja sekoittamalla luodaan uusia tuotteita.
5. Väylämodulaarisuus, jossa on perusrakenne, johon voidaan kiinnittää erilaisia komponentteja.



6. Lohkomodulaarisuus, jossa vakiorajapintaiset komponentit voidaan mielivaltaisesti koota erilaisiin järjestyksiin.

(Lehtonen 2007, s.48.)



Source: From "Patterns of Industrial Automation," by William J. Abernathy and James M. Utterback. Reprinted with permission from Technology Review, copyright 1978.

**Kuva 8.** Modulaarisuuden tyypit. (Lehtonen 2007, s.48.)

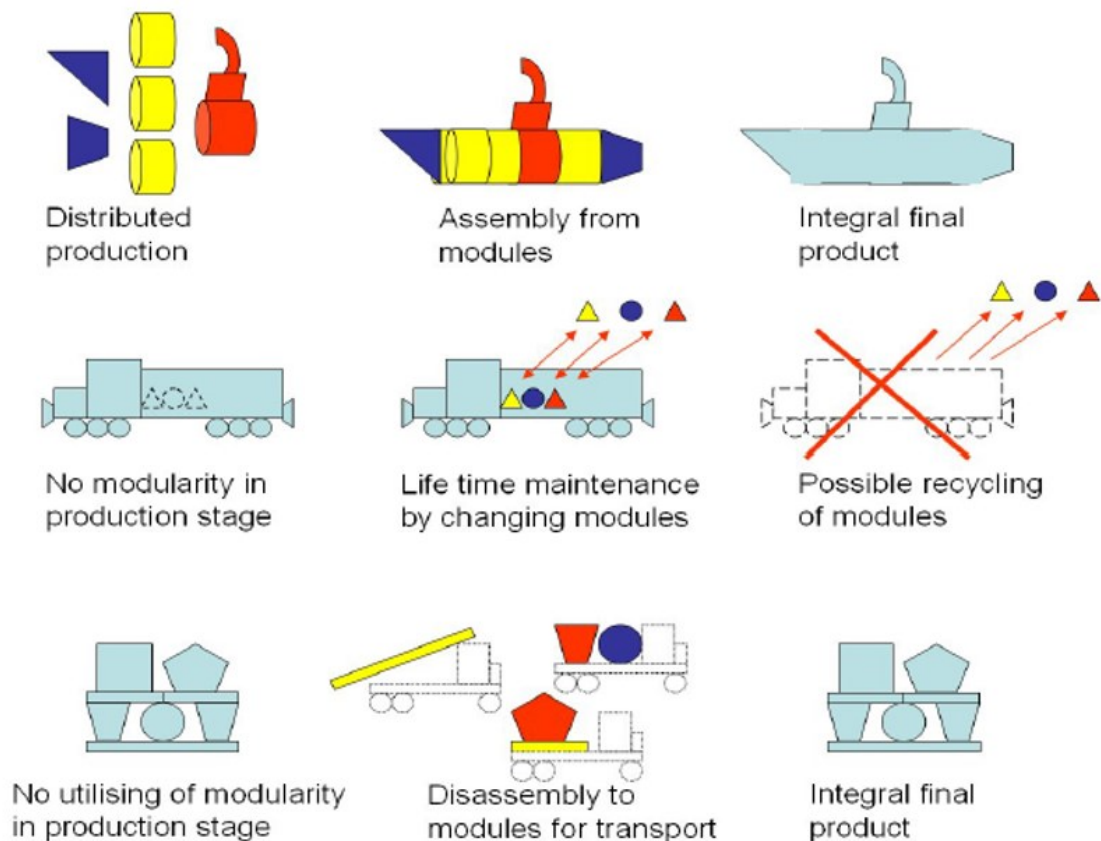
Lehtonen esittää modulaarisuuden tyyppien (Kuva 8.) lisäksi valintamodulaarisuuden ja pinomodulaarisuuden (Kuva 9).



**Kuva 9.** Modulaarisuuden kaksi erikoistapausta (Lehtonen 2007, s.48).

Pinomodulaarisuudessa moduuli joko valitaan tai sille varattu tila jätetään tyhjäksi. Pino-modulaarisuus on parametrinen modulaarisuuden alatyyppejä. Muuttuva parametri tällaisessa tapauksessa voi olla esimerkiksi pituus. On-off modulaarisuudessa taas komponentti joko valitaan järjestelmään tai sen tilavaraus jätetään tyhjäksi. (Lehtonen 2007, s.48.)

Elinkaarimodulaarisuudessa modulaarisuus liittyy tuotteen elinkaareen, ei tuotevalikoiden konfiguraatioihin. Tästä voidaan tunnistaa kolme kategoriaa: valmistuksen, huollon tai logistiikan ajama modulaarisuus (Kuva 10).

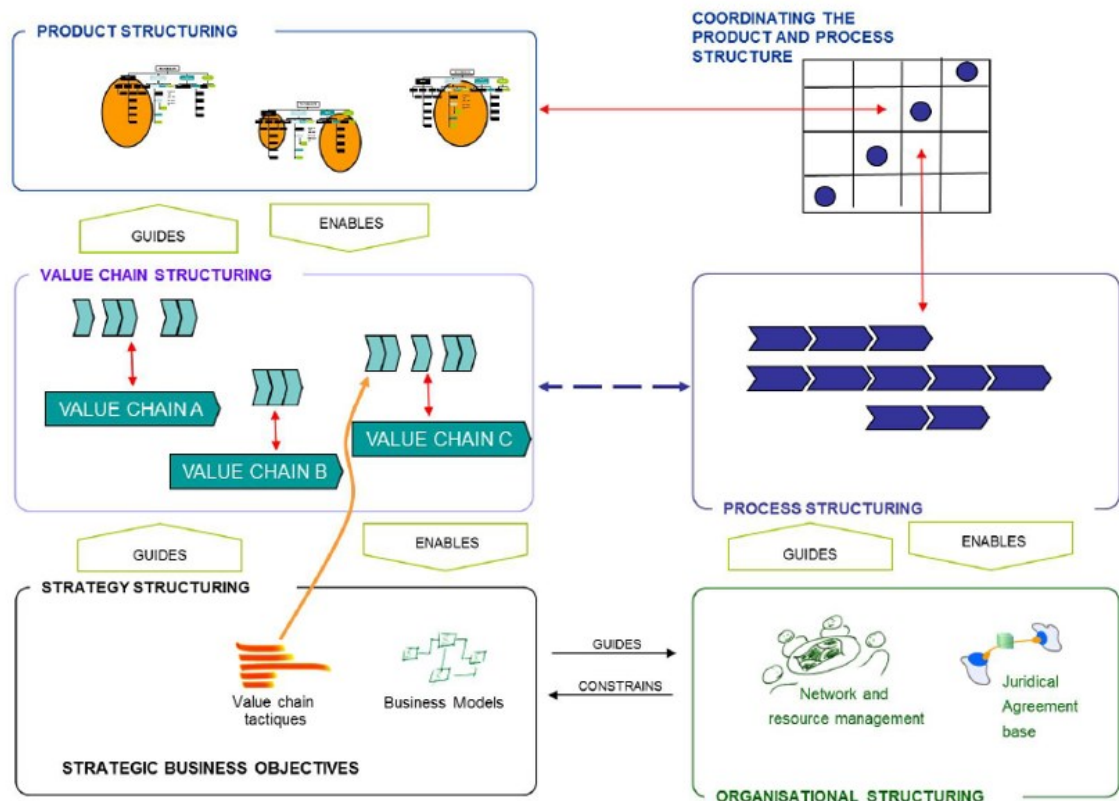


**Kuva 10.** Elinkaaripohjaisen modulaarisuuden tyyppejä (Lehtonen 2007, s.90).

Kuvassa 10 on nähtävissä ylimmällä rivillä valmistuksen kannalta tehty moduulijako. Tässä tapauksessa lopullinen tuote ei ole modulaarinen, mutta tuotanto- ja kokoonpanoprosessit ovat. Keskimmäisellä rivillä olevassa tapauksessa tuotteessa ei ole nähtävissä tuotannon kannalta modulaarisia piirteitä, vaan huollon ja käytöstä poiston kannalta osista on suunniteltu modulaarisiksi. Alimmalla rivillä on nähtävissä logistiikan kannalta ajateltu modulaarisuus. Tässä tapauksessa tuotantoprosessissa tai lopputuotteessa ei esiinny modulaarisuutta, vaan se on ajateltu logistiikan puolesta, jotta tuote on esimerkiksi helppo kuljettaa asiakkaalle. (Lehtonen 2007, s.90.)

### 3.6 Company Strategic Landscape (CSL)

Pohjana CSL-viitekehykselle on yrityspohjainen tuotekehitys. Viitekehysten läpikäynnin tarkoituksena on kehittää tuote, joka soveltuu tuotteen toimitusprosessiin ja täyttää asiakkaan tarpeet. Kuvassa 1 on yleinen kuvaus viitekehysten rakenteesta, sen elementeistä ja relaatioista. Se sisältää viisi elementtiä: tuotteen, arvoketjun, strategian, prosessin ja organisaation jäsentämisen. Jokaisella yrityksellä on omanlainen CSL-kartta, mutta siitä on olemassa yleinen versio (Kuva 11).



**Kuva 11.** *Company Strategic Landscape (CSL) eli yrityksen strateginen maisema (Pakkanen 2015, s.43).*

CSL-viitekehysten elementtien välillä on relaatioita, jotka ovat joko ohjaavia tai mahdollistavia (Kuva 11). Keskittyminen tulisi olla ohjaavissa relaatioissa, sillä näillä on vaikutuksia operaatioihin. CSL-viitekehysten tavoitteena on kuvata tuotteen kannalta tärkeimmät alueet ja näiden relaatiot, erityisesti tuotteen jäsentämisen näkökulmasta. Tuotteen jäsentäminen ei tarkoita pelkkää tuotehierarkiaa ja osalistaa, sillä tuote voidaan osoittaa samoilla osilla eri tavalla rakenteen hallinnan näkökulmasta. Arvoketjun jäsentäminen ohjaa tuotteen jäsentämistä, mutta tuotteen jäsentäminen vaikuttaa myös mahdollisiin arvoketjuihin. (Pakkanen 2015, s.43.)

CSL-viitekehyksen oikea yläkulma kuvaa keskeistä ideaa ja kehystä tuotteen sisäisen rakenteen ja tuotteen toimitusprosessin välillä (Kuva 11). Toimitusjäsentely ja tuotejäsentely voidaan käsitellä erikseen, mutta kun halutaan käsitellä optimaalisia ratkaisuja, pitää molemmat ottaa huomioon samaan aikaan. (Pakkanen 2015, s.45.)

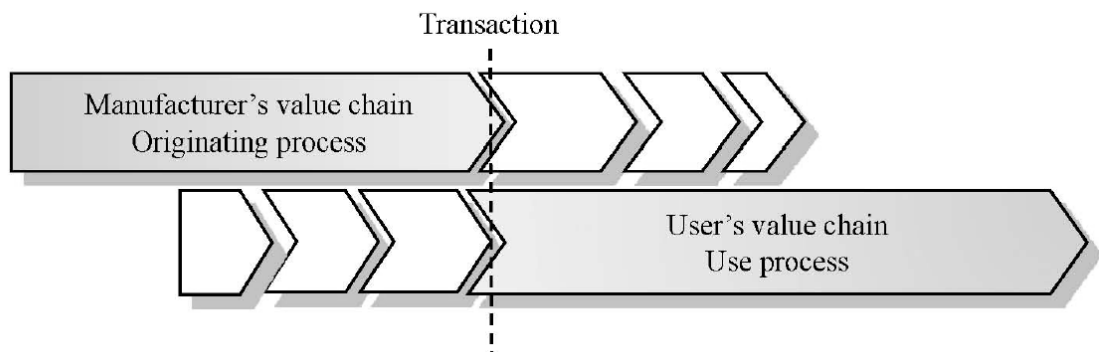
Tässä viitekehyksessä tuotteen strukturointi ei tarkoita vain hierarkiarakennetta ja materiaalilistaa, sillä samoista osista koottu tuote voi olla osioitu eri tavoilla eri näkökulmista katsottuna. Arvoketjujen jäsentäminen vaikuttaa tuotteen jäsentämiseen suoraan, mutta tuotteen jäsentämisen piirteet taas voivat rajoittaa aktiivisia arvoketjuja. (Pakkanen 2015, s.43–44.)

Arvoa voidaan arvioida tuotannon tehokkuuden ja käyttöarvon perusteella. Arvon elementtejä ovat kustannus, laatu, joustavuus, riski, aika, tehokkuus ja ympäristö. Tuotannon tehokkuuden näkökulmasta kustannuksissa kiinnostavat suorat kustannukset, kuten työ ja materiaalikustannukset. Epäsuoria kustannuksia ovat käytettävän tilan hallinta, tilakustannukset, tuotannon ohjaus, laadun varmistus ja ostoon liittyvät kustannukset. Käyttäjän näkökulmasta nähdään hankintaan liittyvät kustannukset suorina kustannuksina. Epäsuorina kustannuksina ovat selvitystyö, arvioiminen, testaus, operointiin liittyvät kustannukset, energiankulutus, käyttöosat, huolto, varaosat, korjaus ja käytöstä poisto. (Oja 2010, s.27.)

Yritysympäristössä on kaksi eri näkökulmaa arvolle, tuottaja ja käyttäjä. Molemmilla on omat näkemyksensä arvosta ja rahalliset tekijät asettavat pohjan päätöksenteolle. Liiketoimintanäkökulma onkin ensisijainen arviointiperuste. Yrityksen strategialla, säännöillä ja mielipiteillä on myös vaikutusta. Konseptin muodostukseen liittyvät arvoketjujen elementtejä ovat kustannus, laatu, joustavuus, riski, aika, tehokkuus ja ympäristö. Tuotannon tehokkuuden näkökulmasta laadunarvoelementin tavoitteena on tuotannon pyöriminen halutulla tavalla ja mahdollisimman vähällä laadunvarmistuksella, uudelleentyöstöllä ja romutuskustannuksilla. Käyttäjälle arvoa tulee toiminnollisuuden säilymisestä, käyttöasteesta, korjauksen tarpeesta ja komponenttien sekä materiaalien vanhenemisesta. Tuotesuunnittelun mahdollistama monimuotoisuus ja sopeutumiskyky tuotannossa tuovat joustavuutta tuotannon tehokkuuteen. Joustavuus lisää käyttäjälle arvoa kyvyllä sopeutua käyttäjän prosessin muutoksiin. Riskit tuotannon tehokkuudessa liittyvät tuotteen suunnitteluun. Käyttäjälle riskit taas liittyvät tuotannon aloittamiseen, osaavien työntekijöiden saamiseen, varaosien saatavuuteen, huollon taitovaatimuksiin, tuotteen rikkoutumiseen ja vastuuseen. Ajan vaikutus tuotannon tehokkuuteen tulee esille tuotteen mahdollistaman lyhyen läpimenoajan kautta. Käyttäjä haluaa taas pyrkiä lyhyeen toimitusaikaan, nopeampaan tuotannon aloitukseen, huollon nopeuteen, takuu-aikaan ja elinaikaan. Tehokkuus tuotannossa tarkoittaa ihmisten ja resurssien tehokasta hallintaa. Käyttäjän arvossa taas korostuu tehokas prosessien käyttö, tehokkuus yleisesti, resurssien ja energian käyttö sekä MTBF. Tuotannon tehokkuutta tavoitellessa tulee pitää mielessä ympäristövaikutukset, joita tuotannolla on. Käyttäjän tulee taas ottaa huomioon käytöstä, poistosta ja ylläpidosta aiheutuvat ympäristövaikutukset. (Oja 2010, s.27.)

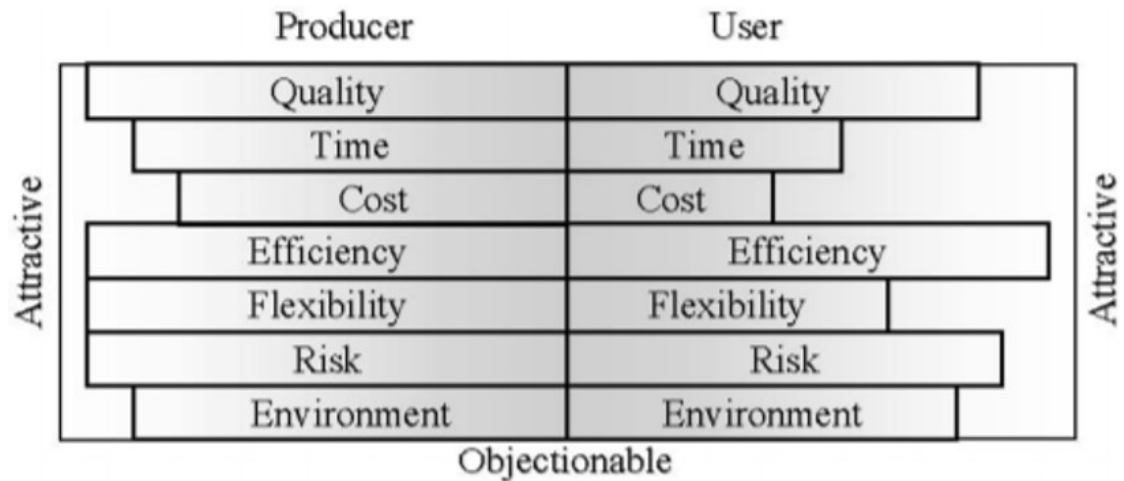
Ojan (2008) mielestä tuotekehityksessä on monenlaisia ongelmia, kun luodaan vaihtoehtoisia tuotekonsepteja ja näiden jatkokehitysmahdollisuuksia arvioidaan. Hinnan asettaminen jokaiselle tuoteominaisuudelle tai toiminnollisuudelle ei heijasta markkinoiden ja käyttäjien näkökulmaa. Hintaa voi kuitenkin käyttää arviointitekijänä suunnittelussa täysin konfiguroitavissa olevaa tuotetta tai palvelua. (Oja 2008.)

Arvoketjut ja arvojen eteneminen voivat vaihdella elinkaaren eri vaiheissa. Arvo kuvaa ja määrittelee toiminnot, jotka lisäävät tuotteen tai prosessin arvoa. Usein tätä pidetään suorana valmistuksena ja tuotannon toimintana, mutta prosessin aikaisia ratkaisuja ja päätöksiä pidetään myös arvoketjuina. Tuotteen elinkaaren eri vaiheissa on olemassa erilaisia arvoketjuja. Arvoketjun alku on prosessin ensimmäinen toiminto ja loppu vastakkaisesti taas, kun kaikki vastuut ja palvelut loppuvat sen osalta. Tuottajan arvoketju sisältääkin yleensä suunnitteluprosessin tuoteideasta tai ensimmäisistä toiminnoista tuotteen elinkaaren loppuun. Liiketoimintaympäristöstä voidaan myös tunnistaa useita lyhempiä arvoketjuja. Käyttäjän arvoketju alkaa siitä, kun käyttäjä saa tuotteen ja päättyy tuotteen hävittämiseen. Yritykset tarjoavat yleensä palveluja läpi tuotteen elinkaaren, joten näissä on usein päällekkäisyyttä (Kuva 12). (Oja 2010, s.23–24.)



**Kuva 12.** *Päällekkäiset arvoketjut (Oja 2010, s.24).*

Yritysnäkökulman arvoelementtien painoarvot voivat vaihdella näkökulmasta riippuen (Kuva 13). Voidaan olettaa, että jokaisen elementin arvo riippuu ajasta, paikasta ja näkökulmasta. Kehitettäessä tuotetta arvon arviointi tapahtuu sen hetkisen parhaan tiedon mukaan. Tämä sisältää arvion eduista koko odotetun elinkaaren ajalta. Arvoelementtien, kuten laadun, ajan, joustavuuden ja riskin mittaaminen ja saattaminen vertailtavaksi numeeriseksi arvoksi on haastavaa. Vertaillessa eri elementtejä päätöksentekoon, Oja (2008) ehdottaa käyttämään kolmea kategoriala: syrjäyttävä, neutraali ja houkutteleva. (Oja, 2008.)



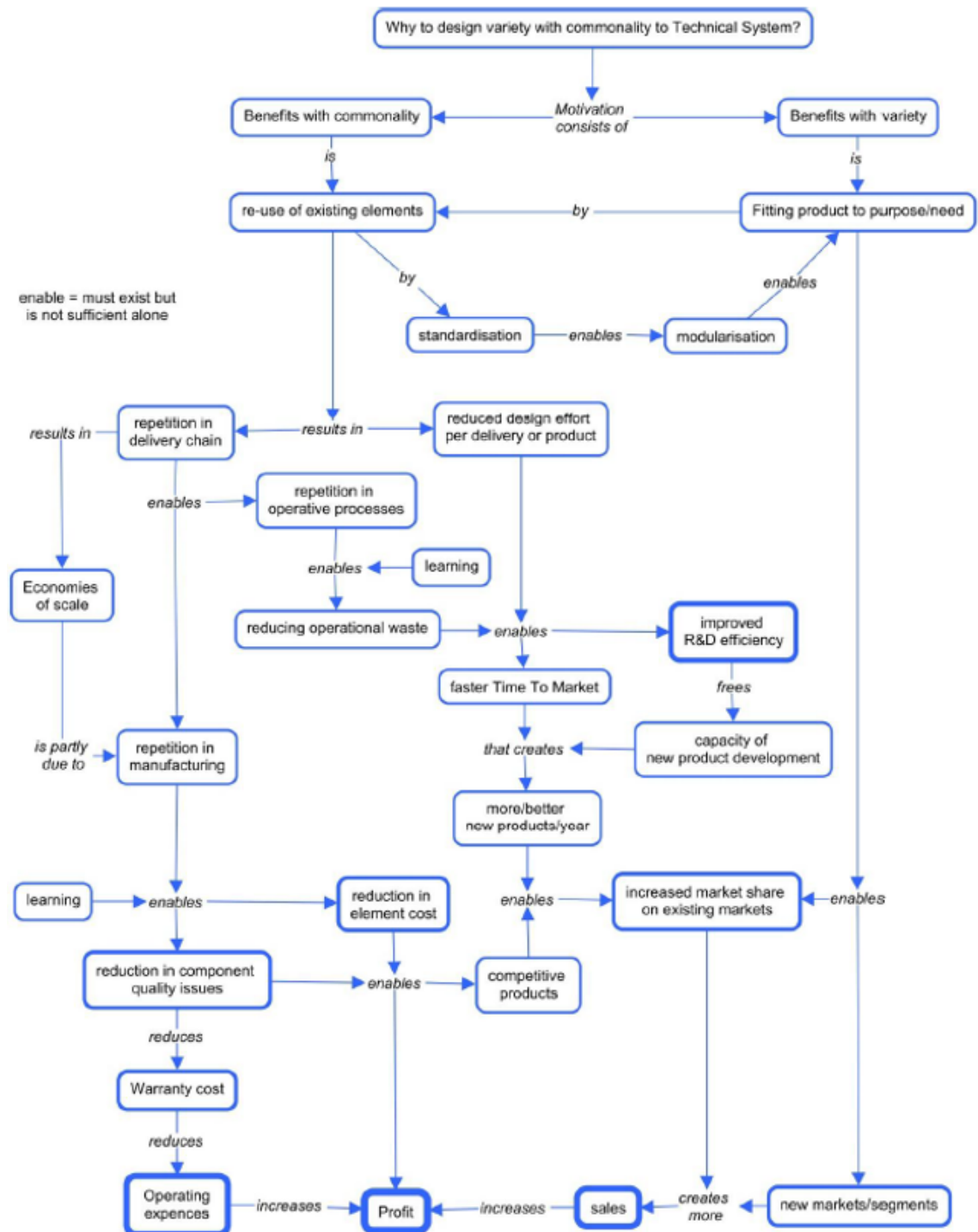
**Kuva 13.** Kaksi näkökulmaa arvojen elementteihin (Oja 2008).

Ojan (2008) esittämät kaksi näkökulmaa arvojen elementteihin (Kuva 13.) esittää yleisinä arvojenluojina pidettyjen tekijöiden painoarvojen vaihtelun asiakkaan ja valmistajan näkökulman välillä. (Oja 2008.)

Tuotekehitysprosessin tärkeimmät päätökset syntyvät konseptoinnin aikana. Kun käsitellään perusteita onnistuneelle tuotekehitykselle, pitää kaupallistamisella, myynnillä ja eri arvoelementeillä olla rooli tuotekehityksessä. Tuottavuutta pystytään lisäämään joko vähentämällä kustannuksia tai lisäämällä tuotteen asiakasarvoa. Kun konseptoinnissa kehitetään tuotteen toiminnollisuutta, arkkitehtuuria ja ominaisuuksia on tärkeää, että ne palvelevat useampaa sidosryhmää, kuten valmistajaa ja asiakasta. (Oja 2008.)

### 3.7 Cause-and-effect diagrammi

Cause-and-effect-lähestymistä suositellaan varmistamaan, että yritys ja tuotekehitystiimi pitävät tavoitteita selkeinä. Yrityksellä tulee olla täten yhteisymmärrys modularisoinnilla tavoitelluista eduista. Cause-and-effect-diagrammia voidaan käyttää sen vahvistamiseen, että tavoitteet ja mahdolliset hyödyt saavutetaan. Lähestyminen ottaa kantaa näihin monesta eri näkökulmasta. Cause-and-effect-diagrammi paljastaa yhteyksiä eri asioiden ja etujen välillä. Sillä voidaan löytää alueet, joissa suurimmat edut voidaan saavuttaa ja se auttaa Brownfield-prosessin tavoitteiden määrittelyssä. (Pakkanen 2015, s.49.)



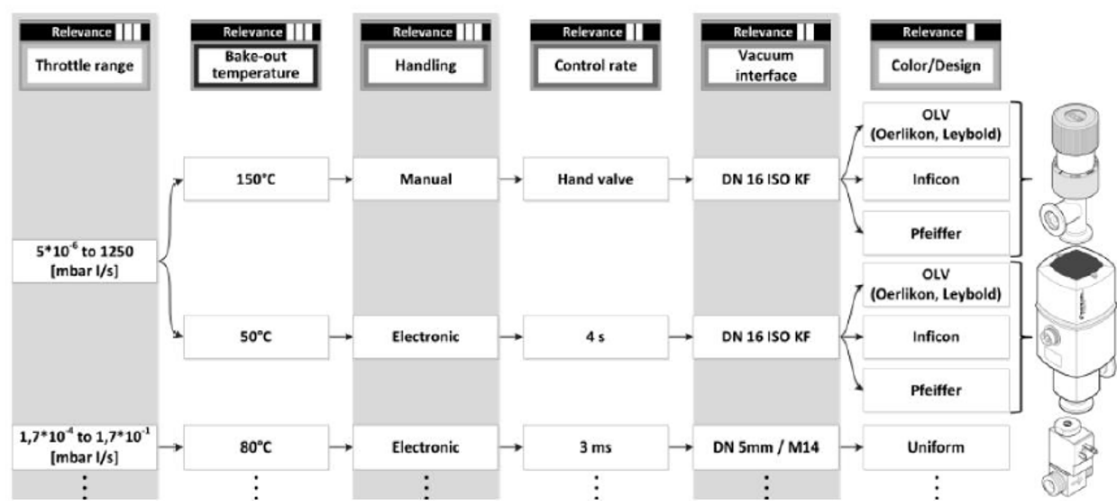
**Kuva 14.** Cause-and-effect diagrammi (Juuti, 2008, s.6).

Juutin (2008) väitöskirjassa on esitetty kuvan 14 Cause-and-effect diagrammi. Diagrammi kuvaa varioinnin ja yhteisten piirteiden aiheuttamia etuja teknisissä systeemeissä sekä tuottaa lisäarvoa ja tehostaa tuotekehitystä. Diagrammi kuvaa miten yhteisten piirteiden tavoittelu ja variointi ovat tärkeimmät tavoitteet. (Juuti 2008, s.5.)

### 3.8 Integroitu PKT

Integroitu PKT -lähestyminen on toimintapohjainen tuoteperheen suunnittelumenetelmä. Menetelmää on sovellettu käytännössä onnistuneesti osien vähentämiseen. Menetelmä ottaa huomioon arkkitehtuurisen näkökulman, kuten moduulien rajapinnat. (Pakkanen 2015, s.134.)

Menetelmä pitää sisällään kaksi eri valmista metodia: suunnitteluvaihtelua varten modulointi ja elinkaaren vaiheiden perusteella modulointi. Integroitu PKT pitää sisällään kahdeksan askelta, joiden aikana käsitellään tarkasteluun valittua pohjatietoa vaihe vaiheelta. Askeleessa yksi analysoidaan ulkoisten tekijöiden aiheuttamaa variaation tarvetta käyttämällä kuvan 15 mukaista variaatiopuuta (Tree of variety). (Eilmus et al. 2012.)

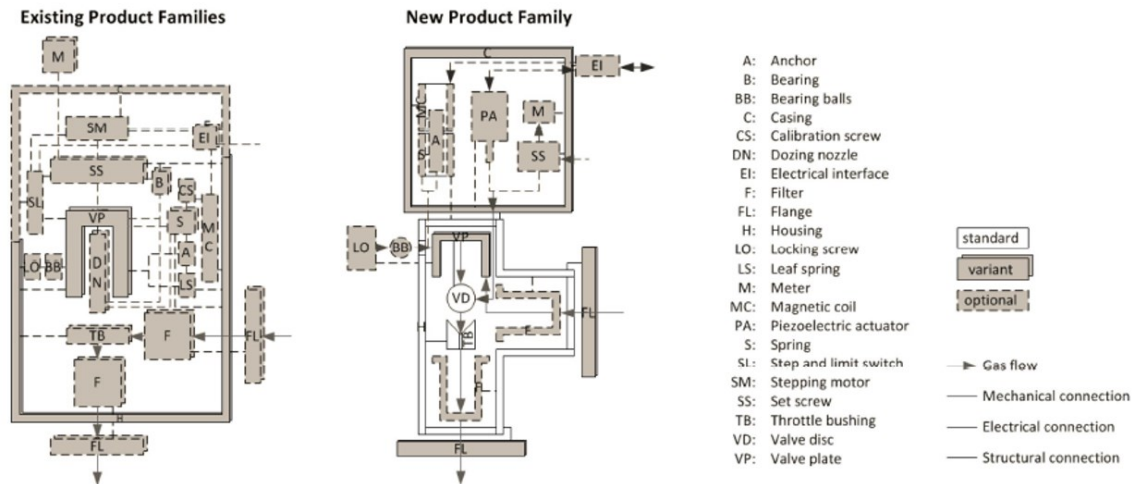


**Kuva 15.** Variaatiopuu (Tree of variety) ulkoisen variaation analysointiin (Eilmus et al. 2012).

Tavoitteena on havainnollistaa asiakasnäkökulman aiheuttamaa ominaisuuksien vaihtelua ja tuotevariantteja. Variaatiopuu visualisoi miten tietyt asiakasympäristön tarpeet realisoituvat tuotevarianttien tarpeessa.

Askeleessa kaksi tapahtuu niiden muunneltavien toimintojen analysointi, mitkä aiheutuvat tuoteperheen toimintarakenteesta. Tässä askeleessa tehdään nykyisen tuotteen hierarkkinen toimintorakenne. Askeleessa kolme tapahtuu moduulirajapinnan kuvaajan muunnoskomponenttien analyysi. Esitys sisältää kaikki komponentit, komponenttien tyytit ja yhteydet toisiin komponentteihin tuoteperheessä. Jokaisen funktion toimintaperiaatteet on myös selvitetty. (Eilmus et al. 2012.)

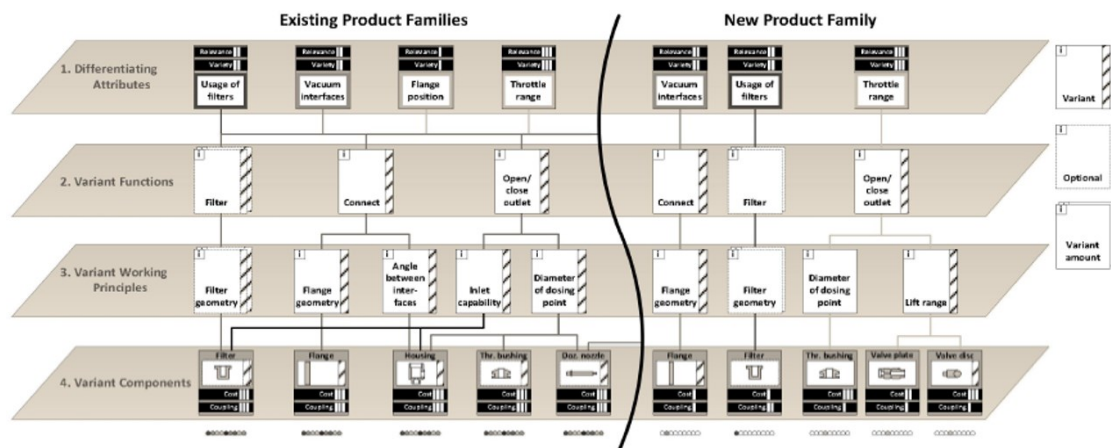




**Kuva 16. Moduulirajapintagraafi (Module Interface Graph) (Eilmus et al. 2012).**

Kuvan 16 moduulirajapintagraafi kuvaa miten komponentit ja niiden tyyppien relaatiot menevät tuoteperheen sisällä. Tällä mallilla voidaan kuvata näiden liitäntätyyppien, kuten: mekaaninen, sähköinen tai rakenteellinen. Askeleessa neljä tehdään eri varianttien toimintaperiaatteiden analyysi moduulirajapintagraafin avulla. Graafissa on nähtävissä komponenttien variaatio ja niiden väliset yhteydet. Kuvassa on nähtävissä vanha ja uusi tuoteperhe. (Eilmus et al. 2012.)

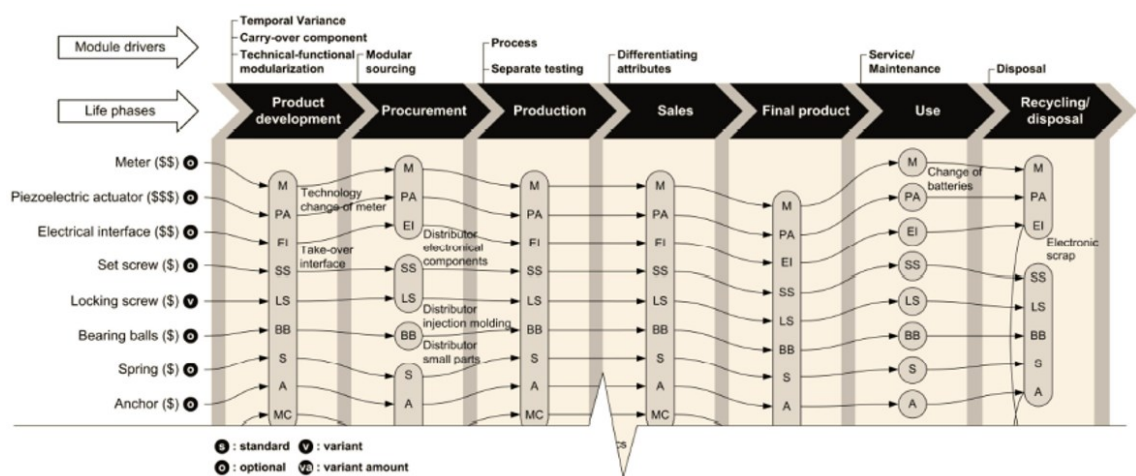
Askel viisi koostuu askelten 1–4 muuntelun elementtien ja lajikeoptimoinnin johtamisesta käyttäen kuvan 17 Variety Allocation-mallia. Tässä mallissa on neljä tasoa, muuntelun tekijät, varianttitoiminnot, varianttien toimintaperiaatteet ja varianttien komponentit. Tavoitteena on yhdistää nämä tasot toisiinsa, jolloin saadaan selville ulkoisen ja sisäisen variaation yhteydet. (Eilmus et al. 2012.)



**Kuva 17. Variaation allokointimalli (Variety allocation model) (Eilmus et al. 2012).**

Askeleessa kuusi tapahtuu uuden tuoteperheen konseptin arviointi ja valinta (Kuva 17). VAM-mallia pystytään käyttämään analysoidessa variaatio-orientoitunutta tuoterakennetta. Heikoimmat kohdat rakenteessa voidaan joko uudelleen suunnitella, muokata tai kehittää uusia komponentteja. (Eilmus et al. 2012.)

Askeleet seitsemän ja kahdeksan pitävät sisällään elinkaarikohtaisten moduulijurien tunnistamisen ja modulaarisuuden koko elinkaaren ajan, käyttäen kuvan 18 Module Process Chart-kaaviota. Askeleiden tarkoituksena on asettaa modulointistrategia aiempien askelien perusteella. PKT ehdottaa muodostamaan omat modularisaatio-konseptit jokaiselle elinkaaren osalle. Kuvan 18 esimerkin mukaista diagrammia käytetään apuna moduulikonseptien määrittämiseen. Jos eri elinkaaren vaiheissa saavutetaan etuja eri moduulikonsepteilla, tällöin konseptit voivat olla erilaiset eri vaiheissa. (Eilmus et al. 2012.)



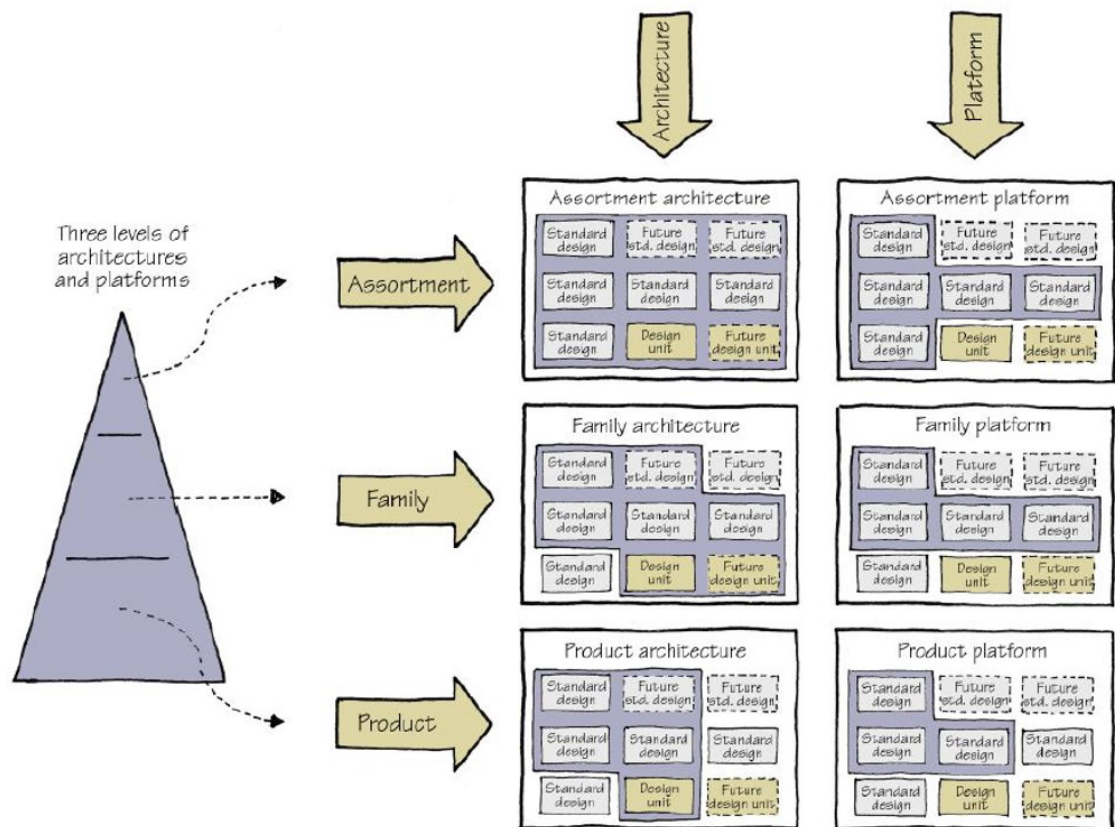
**Kuva 18.** Moduuliprosessikaavio (Module Process Chart) (Eilmus et al. 2012).

Lähestyminen on toimintaorientoitunut tuoteperheen suunnittelumenetelmä, jota on käytetty onnistuneesti käytännössä. Menetelmä ottaa kantaa arkkitehtuuriin ja tuoterakenteeseen. (Pakkanen 2015, s.314.)

### 3.9 Tuoteperheiden kehitys arkkitehtuurin perusteella (PMFP)

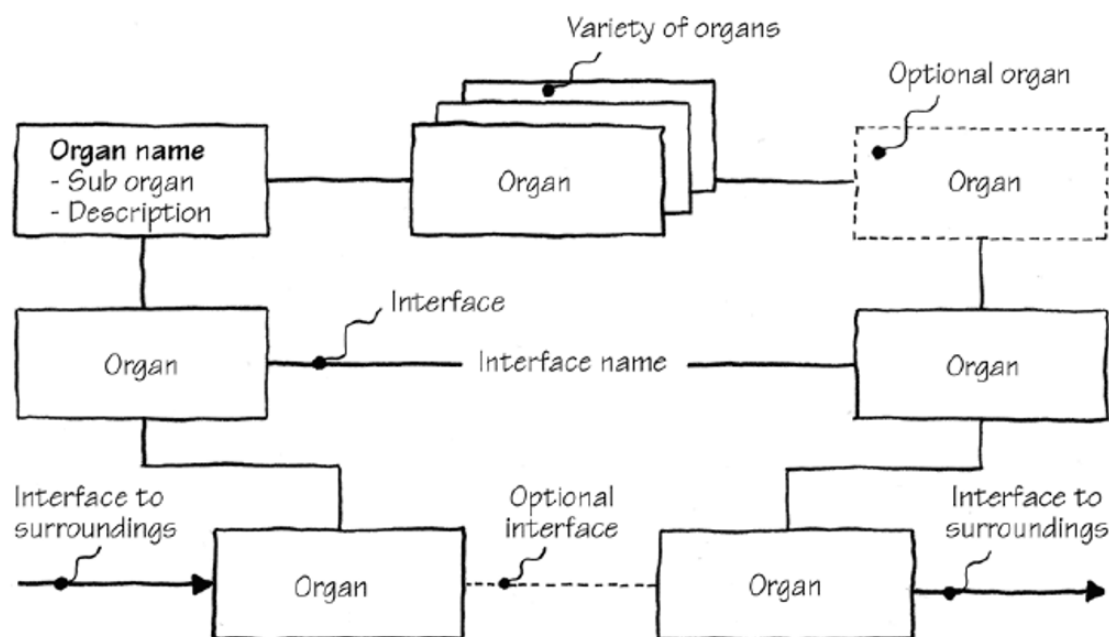
Harlou (2006) esittää lähestymistavan arkkitehtuuriin perustuvalle tuoteperheen määrittämiselle. Määrittämisessä käydään läpi arkkitehtuuriin sisältyviä suunnitteluyksiköitä, rajapintoja ja sovellusominaisuuksia. Suunnitteluyksiköt voivat olla taas uudelleenkäytettäviä tai kertakäyttöisiä. On olemassa kahdentyyppisiä rajapintoja, rajapinnat eri suunnittelukokonaisuuksien välillä ja rajapinnat ympäristön kanssa. Standardisuunnitteluyksiköt jaetaan vielä kolmeen luokkaan, jotka sisältävät rakenteelliset elementit, toiminnalliset ominaisuudet ja sovellusominaisuudet. Tässä tapauksessa vakiomallin rakenneosia voidaan kuvata käyttämällä elimiä (Organ), osia ja rajapintoja. (Harlou 2006, s.97.)

Harlou (2006) jakaa asetteluarkkitehtuurin, tuoteperhearkkitehtuurin ja tuotearkkitehtuurin omiin kategorioihin. Asetteluarkkitehtuuri pitää sisällään tuoteasettelun ja täten tulevaisuuden tuotteet tulee ottaa myös huomioon. Alusta (Platform) voidaan jakaa myös kolmeen eri kategoriaan, valikoima-, tuoteperhe- ja tuotearkkitehtuuri (Kuva 19). Kaikilla näillä osioilla pitäisi olla omistaja, jolloin arkkitehtuurin tai suunnittelun omistaja omistaa myös rajapinnat, tai jokaiselle rajapinnalle on määrätty oma omistaja. Arkkitehtuurin ja alustan kolmen eri tason sisällön käsittelyyn on kaksi työkalua, joilla siihen voidaan ottaa kantaa, yleinen elinkaavio ja tuoteperhesuunnitelma (PFMP). (Harlou 2006, s.93.)



**Kuva 19.** Arkkitehtuurin ja alustan kolme eri tasoa (Harlou, 2006, s.97).

Kuvassa 20 on elinkaavio (Organ diagram), jota voidaan soveltaa arkkitehtuurin, suunnitteluelementtien ja tasojen esittämiseen. Elinkaavio sisältää symbolisen esityksen yleisestä elindiagrammista. Lohkoilla on omat nimet ja myös alielimiä voidaan sisällyttää esitykseen. Myös toimintojen tai ominaisuuksien esittäminen on mahdollista. Esityksen tarkoituksena on visualisoida ja auttaa kommunikaatiossa yrityksen eri sidosryhmien kanssa. Mallintaessa arkkitehtuureja elimillä tarkoitetaan toiminnallista näkökulmaa. (Harlou, 2006, s.100–101)

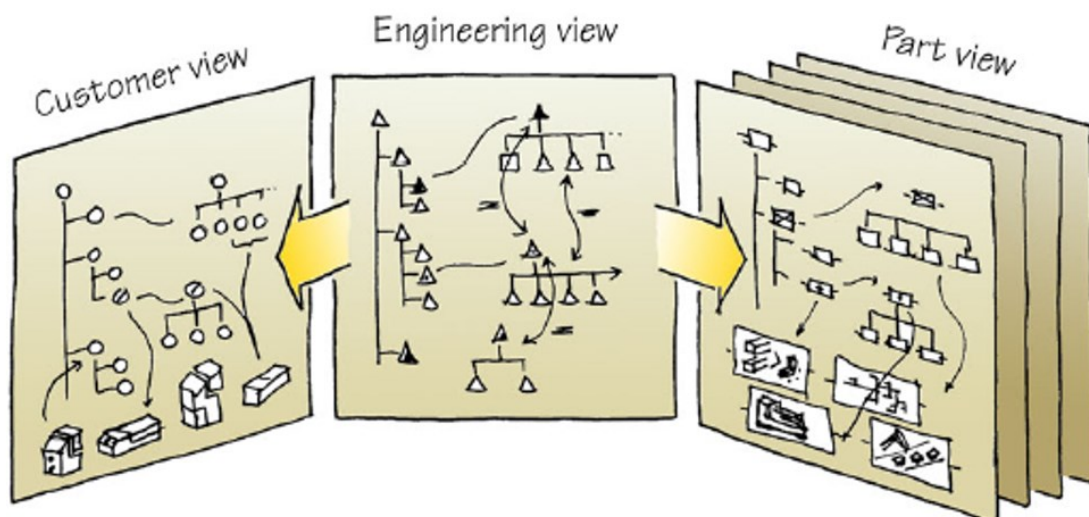


**Kuva 20.** Geneerinen elindiagrammi (*Generic organ diagram*) (Harlou, 2006, s.101).

Variotavan tuoteperheen mallintamiseen liittyy kolme eri näkökulmaa (Kuva 21):

- Asiakasnäkökulma kuvaa tuoteperhettä asiakkaan näkökulmasta. Tämä merkitsee variaation näyttämistä markkinoiden näkökulmasta. Näkökulman pitäisi vastata kysymykseen: ”Mitkä ominaisuudet ja sovelluksen ominaisuudet ovat mielenkiintoisia asiakkaan näkökulmasta?”
- Tekninen näkökulma kuvaa tuotetta suunnittelun näkökulmasta. Tarkoituksena on kuvata tuotteen elementtien rakenne ja koostumus. Näkökulman pitäisi vastata kysymykseen: ”Kuinka tuoteperhe toimii ja miten se varioi elementtinäkökulmasta?”
- Osanäkökulma kuvaa tuoteperheen fyysisiä osakokonaisuuksia ja vastaa kysymykseen: ”Miten tuoteperhe on toteutettu käytännössä ja millaista vaihtelua tässä näkökulmassa esiintyy?”

(Harlou 2006, s.119.)

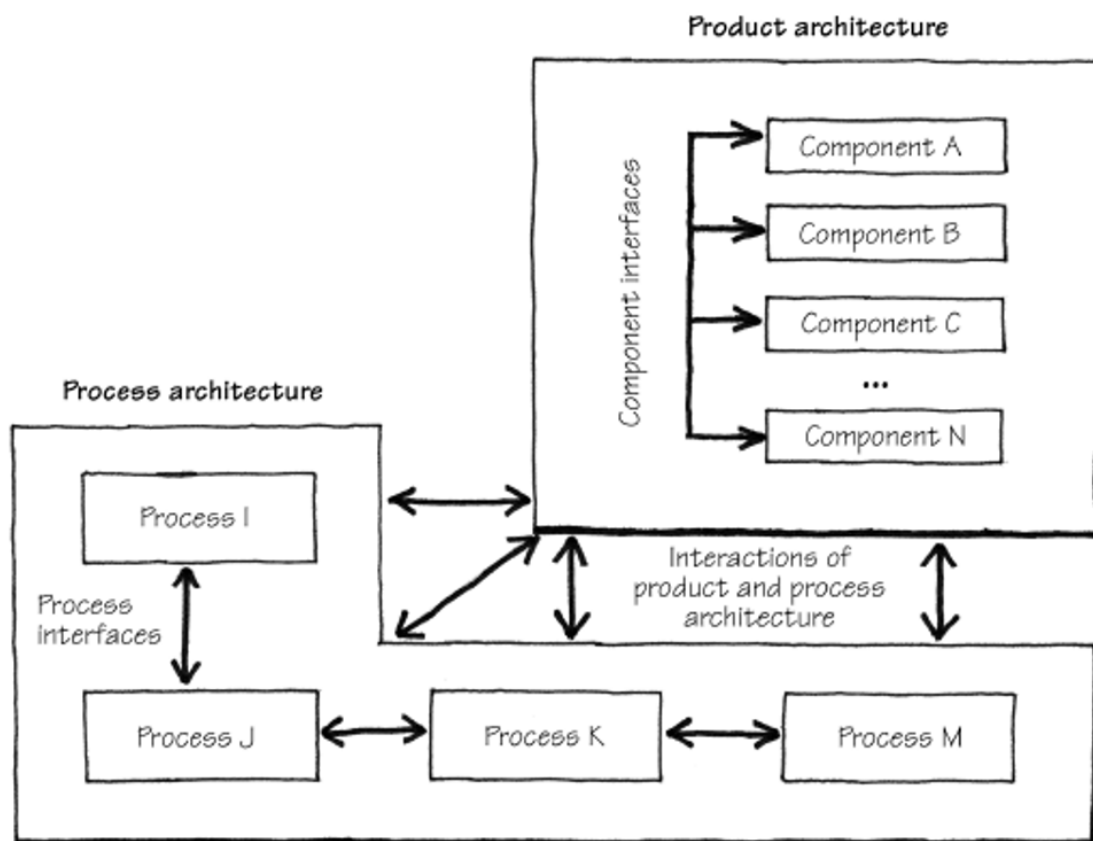


**Kuva 21.** Tuoteperheen variaatioiden mallintamisen kolme näkökulmaa (Harlou, 2006, s.106).

Kuvassa 21 esitetyn tuoteperheen variaatioiden mallintamisen kolme näkökulmaa linkittyvät toistensa kanssa. Asiakasnäkökulman toiminnot vaikuttavat yhteen tai useampaan elimeen teknisessä näkökulmassa ja nämä elimet taas vaikuttavat yhteen tai useampaan osaan tai kokoonpanoon osanäkökulmassa. Osanäkökulma vaikuttaa teknisen näkökulman toteutuksiin ja nämä yhteydet ovat tärkeitä luodessa päätöksiä tuotevalikoimasta ja arkkitehtuurista. (Harlou 2006, s.119.)

PFMP:ää on sovellettu tuotevalikoimaan ja arkkitehtuuriin vaikuttavassa päätöksenteossa teollisuudessa. Harlou (2006) listaa neljä käytötapausta. Ensimmäiseen tapaukseen liittyy arvoa ja ei arvoa lisäävien elementtien tunnistaminen. Tässä tapauksessa yrityksessä tunnistettiin arvoa tuottamattomia elementtejä sen tuoteperheestä ja ne poistettiin. Toisessa tapauksessa PFMP:tä sovellettiin suunnittelun monimutkaisuuden tunnistamiseen. Tässä selvitettiin, onko yhteen asiakasryhmään vaikuttavalla toteutuksella linkkejä useaan eri teknisen näkökulman elimeen, joka muutostilanteessa aiheuttaisi paljon ylimääräistä suunnittelutyötä. Kolmannessa tapauksessa yrityksessä luotiin yksimielisyys myynnin, suunnittelun ja tuotannon välillä. PFMP:ää käytettiin työkaluna keskustelun luomiseen näiden sidosryhmien välillä. Neljäs tapaus oli alustan ja arkkitehtuurin dokumentointi. Tässä PFMP:ää hyödynnettiin, sillä siinä dokumentointi tapahtuu jatkuvasti kehitysprosessin edetessä. (Harlou 2006, s.119–120.)

Tuote-, prosessi- ja arkkitehtuurintiedon mukainen modularisointi (Kuva 22.) on työkalu modulaarisen tuoteperheen suunnitteluun. Prosessiarkkitehtuurissa toiminnollisuudet puretaan toiminnoiksi ja toiminnallisiin toimintoihin. Tämän lisäksi määritellään miten tietyt toiminnot vaikuttavat koko prosessiin. Tuote- ja prosessiarkkitehtuurin tulee ottaa toisensa huomioon, jotta järjestelmästä saadaan mahdollisimman paljon irti. (Harlou 2006, s.55–56.)



Kuva 22. Prosessi- ja tuotearkkitehtuurin väliset vuorovaikutukset (Harlou 2006, s.56).

### 3.10 Design structure matrix (DSM)

DSM-prosessi on kolmiosainen: systeemin purkaminen elementteihin, elementtien välisen vuorovaikutusten dokumentointi ja elementtien ryhmittäminen osiin. Tutkittaessa elementtien välisiä vuorovaikutuksia ehdotetaan ottamaan huomioon neljä tyyppiä: tilatyyppiset vaikutukset, jotka aiheuttavat läheisyydellä ja asettelulla vaikutusta kahden elementin välillä, energian siirtyminen kahden elementin välillä, informaation siirtyminen kahden eri elementin välillä ja materiaalin siirtyminen kahden elementin välillä. Relaatioille ehdotetaan käyttämään viisiasteista arviointia. Relaatiot ovat: tarpeellinen, suotuista, ei vaikuta, haitallinen, mutta ei estävä ja halutun toiminnollisuuden estävä. Näiden relaatioiden selvitys voidaan toteuttaa haastattelemalla asiantuntijoita. Menetelmä vähentää elementtien välistä monimutkaisuutta, sillä lohkon (chunk) osioiminen tapahtuu ottaen huomioon eri lohkojen väliset vuorovaikutukset ja pitää mielessä haitallisten vuorovaikutusten muodostumisen ehkäiseminen. Tällä saadaan muodostettua vaihtoehtoisia arkkitehtuureja ja rakenneryhmiä, joista parhaat voidaan valita. Integraatoratkaisuja on tärkeä käsitellä muistakin näkökulmista, kuten strategisista ja tuotearkkitehtuurisista. (Pimmler, T.U. & Eppinger, S.D., 1994.)



DSM-prosessia voidaan käyttää neljään erityyppiseen sovellukseen:

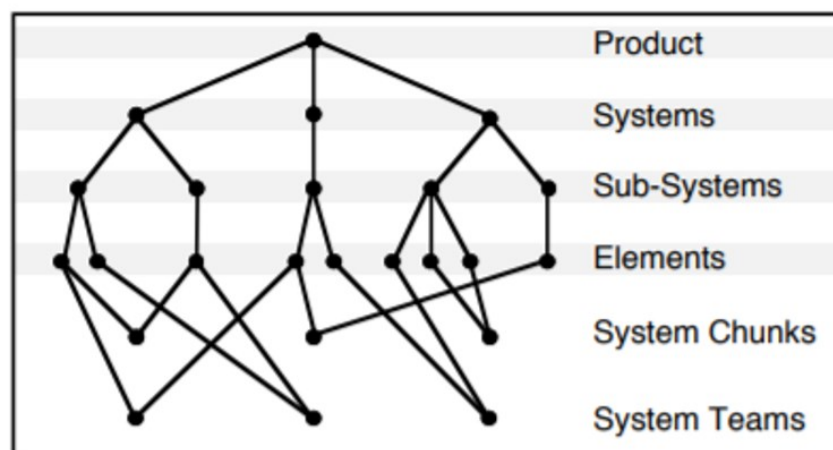
1. Komponentti- tai arkkitehtuuri, jossa mallinnetaan systeemiarkkitehtuurit komponenttien ja/tai alisysteemien välisten suhteiden perusteella (Kuva 23).
2. Ryhmä- tai organisaatioperusteinen, jossa mallinnetaan organisaatorakenteet ihmisten ja/tai ryhmien vuorovaikutuksien perusteella.
3. Toiminto- tai aikatauluperusteinen, jossa mallinnetaan prosesseja ja toimintaverkostoja informaatiovirtojen ja muiden riippuvuuksien mukaan.
4. Parametripohjainen, jossa alitason relaatioita mallinnetaan muun muassa suunnittelupäätösten, parametrien, yhtälöjärjestelmien ja alirutiiniparametrivaihdosten perusteella.

(Browning, 2001, s.293.)

|                          | J | D | M | K | L | N | A | B | E | F | I | H | C | P | O | G |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Refrigeration Controls J |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Heater Hoses D           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Command Distribution M   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Air Controls K           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Sensors L                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Actuators N              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Radiator A               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Engine Fan B             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Condenser E              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Compressor F             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Accumulator I            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Evaporator Core H        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Heater Core C            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Blower Motor P           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Blower Controller O      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Evaporator Case G        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**Kuva 23.** Materiaalien lohkominen (Browning, 2001).

Kuvassa 23 on nähtävissä esimerkki eri osa-alueiden komponenttien klusteroinnista tietyn toimintaperiaatteen mukaan. Klusteroinnin ulkopuolelle jäävät komponentit lisätään näihin valittuihin joukkoihin sijainnin, energian tai tiedon välityksen kautta. Jos alueet ovat päällekkäin tämä tarkoittaa, että alueilla on vuorovaikutusta toistensa kanssa. (Browning, 2001, s.295.)



**Kuva 24.** Integraatiomenetelmätekniikka (Pimmler et al. 1994).

DSM-prosessilla voidaan jakaa systeemin elementit kuvan 24 mukaisiin lohkoihin (Chunks) ja joukkoihin (Teams) ryhmä- ja organisaatioperusteiden mukaan. Tässä tapauksessa tuote puretaan joukkoihin, joilla on tietty toiminto, rooli tai tarkoitus. Tätä prosessia auttaa jakamalla tuote ensin systeemeihin ja alisysteemeihin vuorovaikutusten perusteella. (Pimmler et al. 1994.)

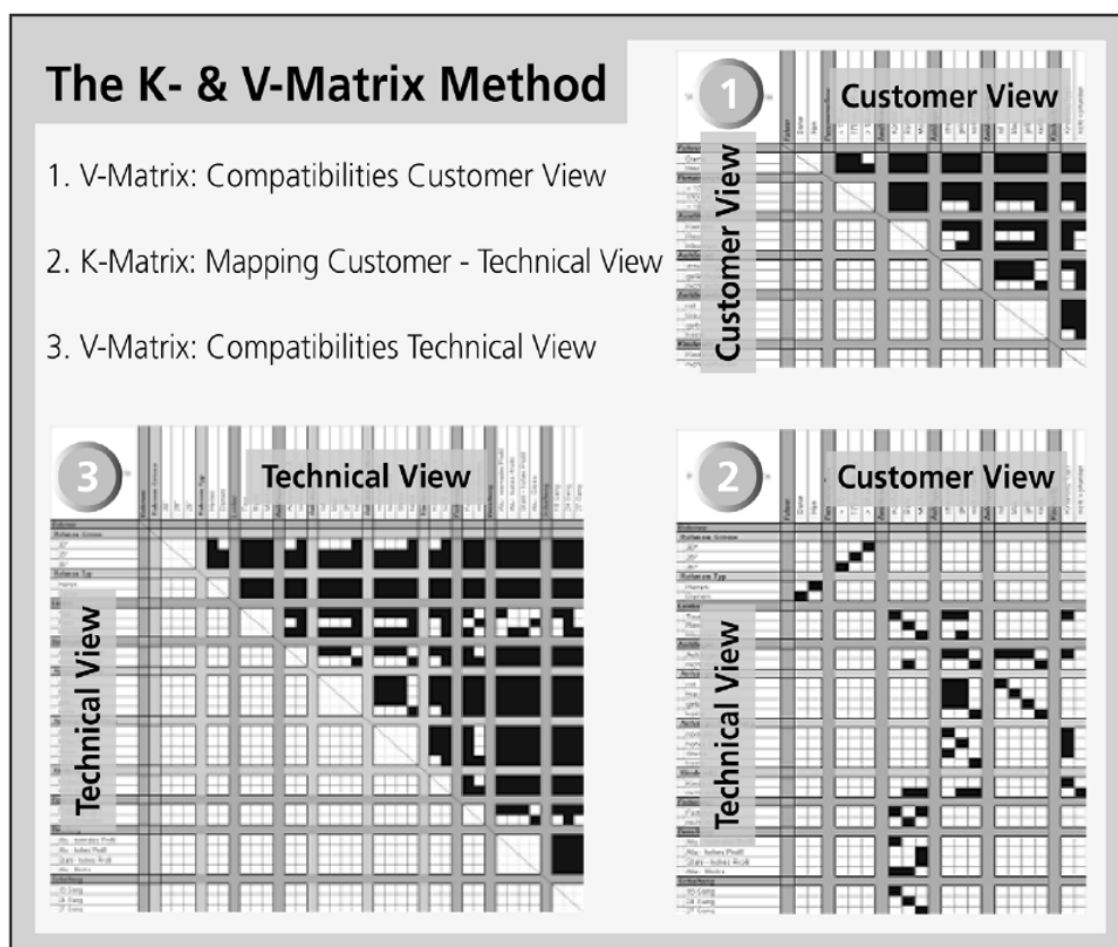
DSM-matriisin perusidea on tutkia rajapintoja ja yhteyksiä komponenttien ja alasysteemien välillä. Tämän perusteella voidaan ehdottaa yksinkertaista moduulirakennetta. Vaihtelun hallintaan DSM ei kuitenkaan ota kantaa, vaikka tämä onkin usein syy modularisaation käyttöönotolle. DSM:n käyttö vaatii huomattavaa tuntemusta kehitettävästä tuotteesta ja sen komponenteista. Lähes kaikki komponentit, alisysteemit, rajapinnat ja vuorovaikutukset tulee olla selvillä. Matriisin täyttö vajailla tiedoilla ei tuota haluttua tulosta. Täten matriisi soveltuukin parhaiten olemassa olevan tuoteperheen uudelleensuunnitteluun. (Harlou 2006 s.62.)

### 3.11 K&V matriisimetodi

Matriisi ei ole suunnittelutyökalu modulaariselle ja konfiguroitavalle tuoteperheelle, mutta konfiguraatietieto pitää olla esitettynä tarkoin, jotta pystytään luomaan tuoteinstanssit (Pakkanen, 2015, s.138). Modulaaristen tuoteperheiden suunnittelua tukevat menetelmät keskittyvät tuotteen rakenteeseen ja auttavat tekemään päätöksiä standardoinnista ja tuoteperheen modularisoinnista. Modulaarisuus on hyvä lähestymistapa hallita monimutkaisuutta konfigurointiprosessissa. PKT-menetelmät eivät kuitenkaan ole suoraan konfiguroitavan tuotteen suunnittelua varten. Menetelmä auttaa tuotearkkitehtuurin optimoinnissa ja se tukee konfigurointiprosessia. Tästä syystä se toimii kommunikoinnin helpottajana myynnin ja suunnittelun välillä. (Bogulielmi 2002.)



K- & V-matriisimenetelmä perustuu kahteen erilaiseen matriisiin (Kuva 25). Konfiguraatiomatriisiin K-matriisi ja yhteensopivuusmatriisiin V-matriisi. V-matriisi määrittää eri ominaisuuksien yhteensopivuuden keskenään. V-matriisissa toisiinsa vertaillaan ominaisuuksia, jolloin voidaan määritellä kaikki mahdolliset ominaisuusyhdistelmät. V-matriisi voidaan muodostaa molemmista K-matriisin näkökulmista. K-matriisi edustaa kahta näkökulmaa, toiminnallinen ja tekninen tuotekuvaus. Toiminnallinen näkökulma kuvaa asiakasnäkymän kannalta tärkeitä ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet määritellään tuotekehitysprosessin aikaisissa vaiheissa. Yrityksen sisäinen tekninen näkymä edustaa tuotevariantimoduuleja. Matriisi kuvaa relaatioita toiminnallisen ja yrityksen sisäisen näkymän välillä. (Bogulielmi 2002.)



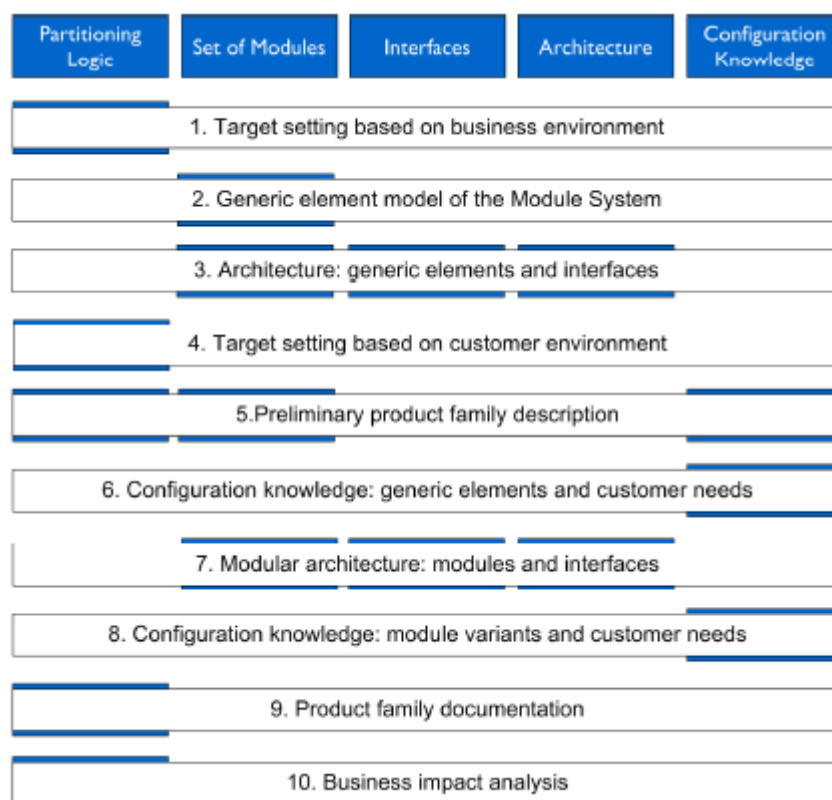
**Kuva 25.** K- & V-matriisimenetelmä (Bogulielmi 2002).

### 3.12 Brownfield -prosessi

Seuraavissa kappaleissa on esiteltynä Brownfield -prosessin kymmenen vaihetta. Brownfield-prosessi perustuu viiteen avainelementtiin: tietoon moduuleista, rajapinnoista, arkkitehtuurista/layoutista, konfigurointisäännöistä/rajoitteista ja suunnitteluperusteista sekä osiointilogiikasta. Suunnitteluperusteet ja arvon luonti tapahtuvat vastaa-

malla muun muassa seuraaviin kysymyksiin: Mikä on arkkitehtuuri/layout, standardirajapinnat, teknologia, tilavaraukset, standardi, keskenään vaihdettavat ja parametriset komponentit/moduulit. (Juuti 2017.)

Lähestymisessä hyödynnetään yrityksen olemassa olevaa tietämystä erilaisista teknologisista ratkaisuista. Prosessissa voidaan hallita teknologioiden ja osiointilogiikan perusteet sekä eri ratkaisuiden perusteella syntyvä arvo voidaan haluttaessa haastaa. Brownfield-prosessi tarjoaa työkaluja tuotehallintaan ja tuotteen osiointilogiikan hallinta perusteineen sisältyy prosessiin. Prosessi tarjoaa myös työkalut arvioida teknologiaa ja tarjonnan tai markkinoiden muutoksien vaikutusta tuoteperheeseen. Prosessi vähentää lisäksi dokumentoinnin tarvetta ja siinä esiintyviä inhimillisiä virheitä. (Juuti 2017.)



**Kuva 26.** Brownfield-prosessi (Pakkanen 2015, s.172).

Prosessi itsessään on jaettu kuvan 26 mukaiseen kymmeneen hallittavuutta helpottavaan osaan. Brownfield-prosessin kulku on suuntaa-antava ja se voi tapauskohtaisesti poiketa järjestykseltään tai askelia voidaan muokata, riippuen tavoitteista ja lähtökohdista. (Pakkanen 2015, s.172.)

### 3.12.1 Askel 1: Liiketoimintaympäristöön perustuva tavoitteiden asetus

Brownfield -prosessin ensimmäisen askeleen tarkoitus on tarjota puitteet valittujen tuotteiden osittaiselle uudelleensuunnittelulle. Uudelleensuunnittelun tarkoitus on saavuttaa

päivitetty modulaarinen tuoteperhe, joka perustuu olemassa olevaan tuoteperheeseen. Askel selventää tavoitteita modulaarisen tuoteperheen suunnittelulle. Tässä askeleessa ehdotetaan käyttämään joko kappaleessa 3.7 esitettyä Cause-and-effect-diagrammia tai vaihtoehtoisesti kappaleessa 3.6 esiteltyä CSL-viitekehystä. (Pakkanen 2015, s.183–185.)

Brownfield-prosessi alkaa käsiteltävän tuoteperheen laajuuden rajaamisella. Aluksi analysoidaan yrityksen nykyistä tuotevalikoimaa ja valitaan näistä tuotteet, jotka halutaan jatkokehitykseen Brownfield-prosessin avulla. Tuotevalikoiman ollessa suuri voidaan joutua tekemään rajauksia modularisointi-prosessiin. Rajauksen etuna on tuotekehityksen yksinkertaistuminen pienemmän variaatiomäärän vuoksi, mutta tällöin koko tuoteperhe ei hyödy tästä prosessista. (Pakkanen 2015, s.185.)

Seuraavaksi selvitetään ja selkeytetään tavoitteet, johon suositellaan kahta vaihtoehtoista lähestymistapaa. Ensimmäinen lähestymistapa on Juutin (2008) Cause-and-effect kaavio. Kaavio on tarkoitettu yhteisten piirteiden (commonality) ja vaihtelevuuden (variability) etujen todentamiseen. Toinen lähestymistapa on Lehtosen (2007) CSL-viitekehys. Lähestymistavan valitseminen riippuu yrityksen tilanteesta ja tavoitteiden selkeydestä. Cause-and-effect-kaaviota suositellaan käytettävän tilanteessa, jossa yrityksellä ja tuotekehitystiimillä on selkeä käsitys tavoitteista. Tämä tarkoittaa, että kaikilla on selkeä ja yhtenevä kuva siitä, mitä etuja modulaarisella tuoterakenteella haetaan. Tällöin kaaviota voidaan käyttää varmistamaan useasta eri näkökulmasta ennako-odotuksien oikeellisuus. Kaavio näyttää yhteydet eri asioiden ja hyötyjen välillä. CSL on taas kattavampi tapa lähestyä ongelmaa. CSL soveltuu erityisesti tilanteeseen, jossa tavoitellut edut eivät ole täysin selviä. CSL kuvaa yritys ympäristön pääelementit tuotteen jäsentämisen näkökulmasta. Itse tuoterakennetta pidetään tässä lähestymistavassa vielä mustana laatikkona. Tässä tapauksessa modulaarisoinnin vaatimukset suositellaan käymään läpi työpaja- tyyllisessä tilaisuudessa, jossa käytetään CSL-prosessin pohjaa sapluunana etenemiselle. CSL:n tarkoitus on auttaa tunnistamaan moduulijajureita yritys ympäristössä, mikä tarkoittaa arvoketjujen, prosessien ja välillisesti organisaation ja strategian luomia signaaleja. (Pakkanen 2015, s.186.)

Tässä vaiheessa on tärkeää kerätä kriittisiä mielipiteitä ja arvioita vaatimuksista tuotteelle. Tämän lisäksi mahdolliset yhteisten piirteiden luomat edut ja heikkoudet pitää arvioida. Tämän askeleen tuloksia tarvitaan muissa Brownfield-prosessin vaiheissa ja itse tuotekehitysprosessissa. Jos modulaarisoinnin tavoitteet ovat epäselvät, niin tämä askel vaatii enemmän työtä. Ensimmäinen askel tähtää siis tavoitteiden määrittelemiseen modulaarisen tuoteperheen määrittämisessä liiketoimintalähtöisestä näkökulmasta. Lähestymistavassa otetaan huomioon tärkeät yritysnäkökulmat ja yhdistetään nämä tuotekehitykseen, tarkoituksena auttaa modulaarisoinnin määrittäystä. Tämä askel edistää osiointilogiikan syntymistä, sillä askeleessa arvioidaan liiketoimintaympäristön vaikutuksia siihen liittyen. (Pakkanen 2015, s.188.)

### 3.12.2 Askel 2: Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli

Toisen askeleen tarkoitus on määritellä geneeriset elementit, joista tuote yrityksen mielestä koostuu. Geneeriset elementit voivat olla esimerkiksi alisysteemejä, operaattoreita, kokoonpanoja tai jopa yksittäisiä osia. Operaattoreita voidaan pitää myös geneerisenä elementtinä. Brownfiel-prosessissa geneerisien elementtien jakoperiaate voi olla funktionaalinen tai rakenteellinen. Lopullisessa mallissa geneeriset elementit voivat koostua monesta vaihtoehtoisesta moduulista (Pakkanen 2015, s.189.)

Tässä askeleessa tulee pitää mielessä yrityksen tavoitteet modulaarisoinnista. Geneerisiä elementtejä määrittäessä tulee miettiä erilaisia elementtijakoja. Tapauksessa, että kahdella tai useammalla elementillä on useita yhteisiä piirteitä, tulee harkita yhden geneerisen elementin määrittämistä. Tapauksessa, jossa elementeillä on paljon yhtenäisyyksiä toistensa kanssa, aiheutuu tuoteperheessä ylimääräistä variaatiota. Tämä taas vähentää modulaarisen tuoteperheen etuja. Yksi tapa arvioida geneerisen elementtimallin oikeellisuutta on niin sanottu 100 % -sääntö. Sääntö perustuu kysymykseen, kattaako geneerinen elementtimalli kaikki Brownfield-prosessiin valitut tuotteet? (Pakkanen 2015, s.190.)

Pakkanen (2015) mainitsee Siddiquen (2006) muotoon perustuvan lähestymisen elementtien analysoinnissa (Pakkanen, 2015, s.190). Lähestyminen mittaa ja tunnistaa yhteisiä piirteitä geometrioista keskenään samantyyppisten komponenttien kesken. Tunnistaminen perustuu mallinnettuihin 3D-malleihin ja näistä muodostettuihin piirrepuumallien tutkimiseen. Näitä käytetään tunnistamaan yhteisiä muotoja ja periaatteita, tarkastelemalla mittoja sekä paikka- ja alaominaisuuksia. (Simpson et al 2006, s.419.)

Yhteiset piirteet mahdollistavat useita etuja toimintojen toistuessa usein. Yritykset, joilla on vain vähän toistoja toimitusketjussa, eivät välttämättä saavuta suuremman mittakaavan etuja yhteisistä piirteistä. Tästä huolimatta yhteisten piirteiden tarkastelu ei välttämättä ole turhaa, mutta saattaa olla olemassa tavoitteita, jotka ovat tällaisessa tapauksessa hyödyllisempiä. Geneeristä elementtimallia luodessa onkin tärkeää ottaa huomioon liiketoiminnan tavoitteet ja siitä aiheutuvat potentiaaliset hyödyt. (Pakkanen 2015, s.190.)

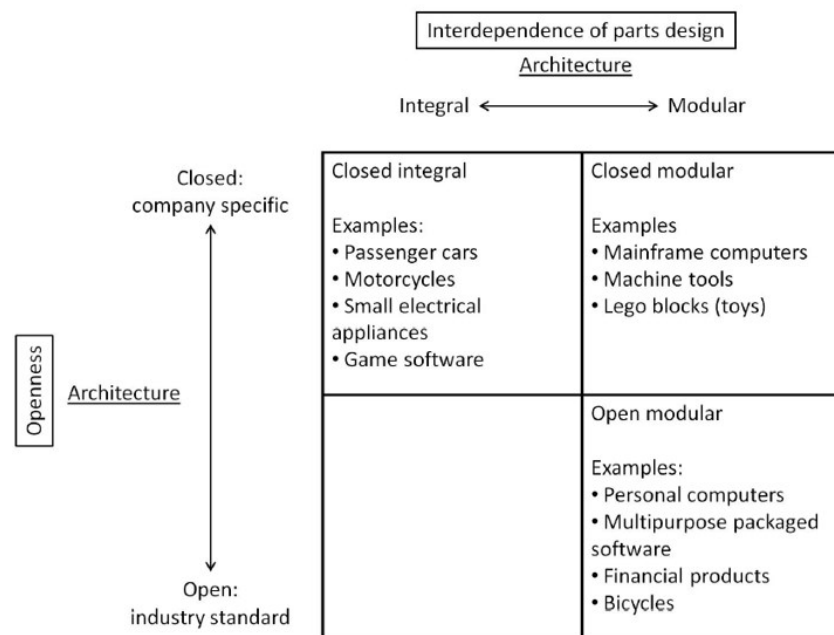
Tässä askeleessa tarvitaan tuotetieto jokaisesta Brownfield-prosessin rajaukseen valitusta tuotteesta ja sen järjestyksistä (discipline). Tämä tieto saadaan yrityksen työntekijöiltä, spesifikaatioista, piirustuksista, hahmotelmista tai muista tuotemalleista. Askel voidaan toteuttaa työpajatyötyyppisessä tilanteessa, jossa osallisina on ihmisiä, jotka omaavat vahvan aiheeseen liittyvän tuotetiedon. Tieteenala pitää ottaa huomioon niin, että geneerisessä elementtimallissa ei ole päällekkäisyyksiä. Tämän vaiheen tulokset tulee dokumentoida hierarkkisesti, sillä myöhemmissä askelissa geneeristä elementtimallia analysoidaan matriisityökaluilla vaatimusnäkökulmasta. Tämän askeleen tuloksia käytetään hyväksi määritellässä alustavaa arkkitehtuuria moduulisysteemille. (Pakkanen 2015, s.190.)

Brownfield-prosessi tukee alkuvaiheen suunnittelua ehdottamalla geneerisen elementtirakenteen määrittystä, jossa otetaan huomioon yrityksen olemassa olevat tuotteet. Tavoitteena on siis luoda lista elementeistä alustavalle moduulijaolle ja aloituspiste arkkitehtuurin ja tuoterakenteen jakamiselle. Tästä askeleesta syntyvään geneeriseen elementtimaliin palataan myöhemmin, kun sen tuloksia arvioidaan ja määritellään tarkemmin jälkimmäisissä askeleissa. (Pakkanen 2015, s.191.)

### 3.12.3 Askel 3: Arkkitehtuurin geneeriset elementit ja rajapinnat

Askeleessa kolme määritellään alustavasti geneeriset elementit ja näiden väliset rajapinnat. Tässä vaiheessa keskitytään siihen miten geneeriset elementit sijaitsevat tuoterakenteessa. Geneeriset elementit, jotka jakavat rajapintoja toistensa kanssa pitää tunnistaa, sillä arkkitehtuuri havainnollistaa elementtien sijainnin. (Pakkanen 2015, s.191.)

Arkkitehtuuri kuvaa sitä, miten moduulit ja niiden rajapinnat nähdään toistensa suhteen ja se ottaa huomioon myös tuoterakenteen, kuten tilanvaraukset (Pakkanen 2015, s.10). Fujimoto jaottelee arkkitehtuurin neljään tyyppiin: sisäinen, modulaarinen, avoin ja suljettu (kuva 27). Integroitu arkkitehtuuri on aina suljettua, mutta modulaarinen voi olla sekä avointa että suljettua. (Pakkanen, 2015, s.56)



**Kuva 27.** Arkkitehtuurien avoimuus ja itsenäisyys (Pakkanen, 2015, s.56).

Tässä askeleessa arkkitehtuuria pidetään kuvauksena geneeristen elementtien pohjapiirroksista. Rajapintojen määrittely geneeristen elementtien välillä on myös tärkeä osa tuotearkkitehtuuria. Kun rajapinnat on määritetty, ne mahdollistavat niin suljetun, kuin avoi-

men modulaarisen arkkitehtuurin. Suljetun modulaarisen arkkitehtuurin määrittelyä käytetään, kun määritellään rajapintoja tiettyjen moduulien välille. Tässä askeleessa pelkkä rajapintojen tunnistaminen on tarpeeksi. (Pakkanen 2015, s.192.)

Tuoteperheen määrittelyn jälkeen voi löytyä tai syntyä uusia asiakastarpeita, jolloin vanha tuoterakenne ei tyydytä uusia tarpeita. Tällaisessa tapauksessa rajapintojen aiempi määrittely mahdollistaa uusien elementtien lisäämisen tuotteeseen. Riippuen elementin yleisyydestä voidaan se lisätä uutena moduulina olemassa olevaan rakenteeseen. Toinen vaihtoehto on lisätä kokonaan uniikki geneerinen elementti, mutta tällöin modulaarisuuden etuja ei päästä hyödyntämään täysin. (Pakkanen 2015, s.192.)

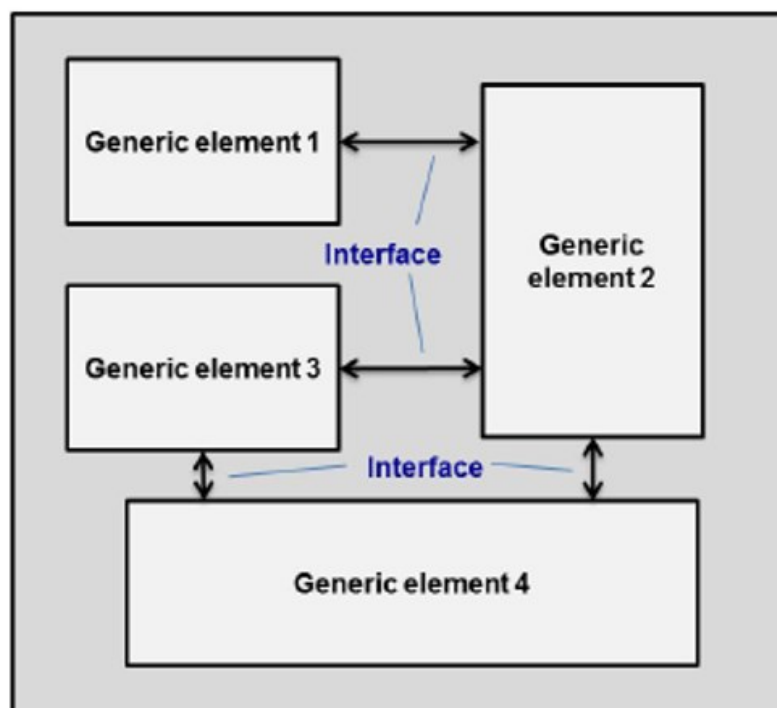
Avoin modulaarinen arkkitehtuuri ottaa huomioon myös mahdolliset tarpeet tulevaisuudessa. Tässä tapauksessa pitää kiinnittää erityisesti huomiota tilavarauksiin ja mahdollisiin uusiin ominaisuuksiin. Näiden tunnistaminen voi olla vaikeaa eikä Brownfield -prosessi ota suoraan kantaa näiden käsittelemiseen. Tuoteperheen rajapintojen määrittelyä pidetään kuitenkin tärkeänä myös tämän kannalta. Tulevaisuuden tuote-elementtejä käsitellään yleensä tiekartoittamalla tuotealustoja ja arkkitehtuureja. Tiekartat ottavat huomioon mitä tuote-elementtejä ja vaihtoehtoisia moduuleita kuhunkin tuoteperheen arkkitehtuuriin ja tuotealustaan kuuluu. (Pakkanen, 2015, s.192.)

Alustavan arkkitehtuurin kuvaukseen on olemassa useita vaihtoehtoisia tapoja kuvata geneeriset elementit ja niiden rajapinnat. Tärkeintä on geneeristen elementtien välisten relaatioiden selkeä tunnistus. Tähän tarkoitukseen matriisityökalut, kuten DSM-matriisi ovat käytännöllisiä. Kuvassa 28 on nähtävissä, miten geneeristen elementtien väliset relaatiot eli rajapinnat voidaan esittää. (Pakkanen, 2015, s.192.)

| <b>DSM for interface recognition</b> | <b>Generic element 1</b> | <b>Generic element 2</b> | <b>Generic element 3</b> | <b>Generic element 4</b> | <b>Generic element 5</b> |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Generic element 1                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| Generic element 2                    | x                        |                          |                          |                          |                          |
| Generic element 3                    | x                        | x                        |                          |                          |                          |
| Generic element 4                    |                          | x                        |                          |                          |                          |
| Generic element 5                    |                          |                          | x                        |                          |                          |

**Kuva 28.** DSM-matriisi rajapintojen tunnistukseen (Pakkanen, 2015, s.192).

Kuvan 27 esimerkki on kevyempi versio alkuperäisessä teoriassa käsitellystä DSM-matriisin käytöstä. Kappaleessa 3.10 on kuvattu tämän käyttö kokonaisuudessaan. Tuotearkkitehtuuria voidaan visualisoida myös erilaisilla ohjelmistoilla, kuten Visio, mutta tarkempi mallinnus CAD-työkaluilla voi olla vielä liian tarkkaa tässä vaiheessa prosessia. Kuvassa 29 on nähtävissä esimerkki arkkitehtuurin alustavasta visualisoinnista, jossa on kuvattu geneeriset elementit ja näiden väliset rajapinnat. (Pakkanen, 2015, s.193.)



**Kuva 29.** Visualisointi alustavasta arkkitehtuurista rajapintoihin (Pakkanen, 2015, s.193).

Työpajatyypinen lähestyminen toimii tässäkin vaiheessa ja askel antaa tuloksena olemassa olevat rajapinnat eri geneeristen elementtien välillä ja lähtökohdat suunnittelulle. Tässä vaiheessa arkkitehtuuria moduuleita ja rajapintoja käsitellään vielä yleisellä tasolla. (Pakkanen, 2015, s.193.)

### 3.12.4 Askel 4: Tavoitteiden asetus asiakasympäristöön perustuen

Vanhan tuotteen rakennetta ja asiakasvaatimuksia on tärkeää opiskella, sillä tuotetta on valmistettu pitkään asiakasvaatimusten perusteella ja tätä kautta konfiguroinnilla saavutetaan hyötyä. Asiakasympäristön opiskelu on tärkeää, jos yritys haluaa muuttaa sen toimintaperiaatteita projektilähtöisestä toimituksesta konfiguroitavan tuotteen toimitukseen. Jotta pystytään määrittämään konfiguraatiosäännöt, pitää tietää todelliset asiakasvaatimukset. On mahdollista, että kaikkia vaatimuksia ei pystytä kuitenkaan kuvailemaan. Tällöin näitä koskevat osat voidaan jättää systemaattisen konfiguroinnin ulkopuolelle.

Brownfield-prosessi olettaa, että tuotteen triviaalit vaatimukset ovat hyvin tunnettu yrityksen sisällä. Vaatimusten paikkaansa pitävyydestä pitää olla myös varma sekä siitä, eivätkä ne sisällä tarpeetonta tietoa, jotta pystytään muodostamaan voimassa olevat perusteet modulaarisen tuoteperheen suunnittelua varten. (Pakkanen, 2015, s.194.)

Gripen lähestyminen on Brownfield-prosessin ehdottama lähestymistapa asiakaskontekstin selkeyttämiseen. Gripen lähestyminen ehdottaa, että lähtöpiste asiakasvaatimusten määrittelylle on ymmärtää missä tuotetta käytetään:

- Minkälaisia asiakkaiden prosesseja voidaan tunnistaa, missä tuotteita käytetään?
- Millaisia yleisiä prosessivaiheita ja segmentoitumista voidaan tunnistaa tavasta, jossa asiakkaat käyttävät tuotteita?
- Millaisia parametreja tai vaihtoehtoja on, mitkä vaikuttavat tuotteen määritelmään ja liittyvät kuhunkin prosessivaiheeseen?
- Onko olemassa muita asioita tai parempia työskentelytapoja, mitkä aiheuttavat erilaisten tuotteiden tai tuotevalikoimien tarvetta?

Gripen lähestymistä voidaan pitää pohjana segmentointimallille, joka voi olla käytännöllinen vertailtaessa tiettyä asiakas- ja teknistä näkökulmaa. Brownfield-prosessi ei ota itsessään kantaa segmentointiin. Gripen ehdottaa tarjoamaan suurempia kokoonpanoja pelkkien komponenttien sijasta. Tästä on yritykselle hyötyä, koska silloin pystytään takaamaan tiettyjen kokoonpanojen yhteensopivuus, toisin kuin useiden yksittäisten komponenttien tai pienien kokoonpanojen yhteensopivuus. (Pakkanen 2015, s.195.)

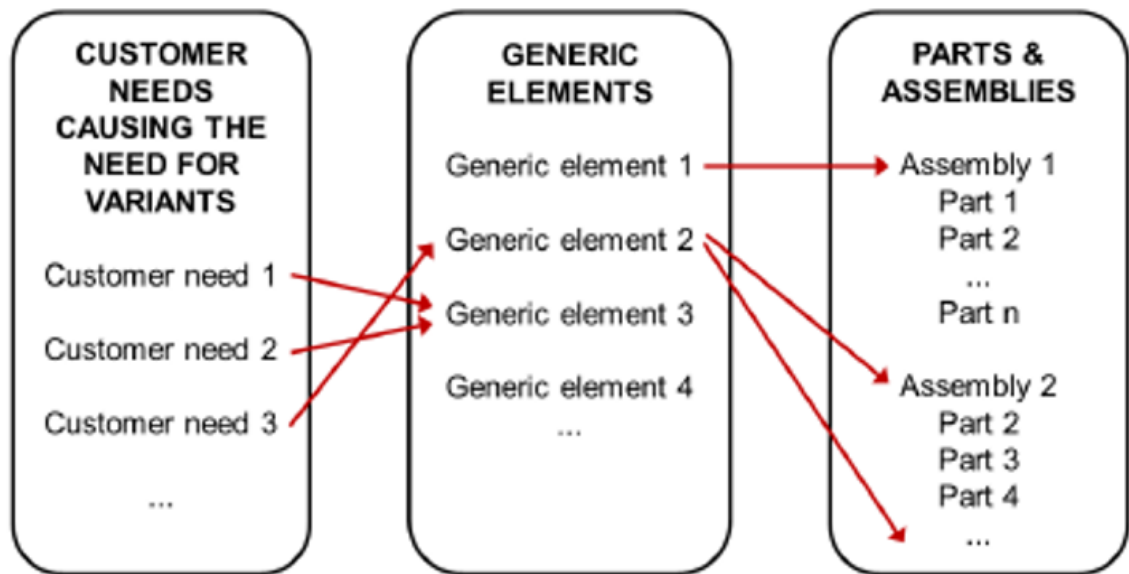
Askel keskittyy analysoimaan muuntelun tarvetta asiakkaan näkökulmasta. Gripen lähestymisen kysymyksiä voidaan käyttää apuna näiden määrittelyssä. Oletuksena tässä on, että yrityksellä on jo olemassa oleva tuoteperhe ja asiakkaat, jotka käyttävät tuotteita. Tämän askeleen tarkoitus on tarjota informaatiota partitointilogiikasta, sillä asiakaskonteksti pitää ottaa huomioon, kun suunnitellaan tuoterakennetta modulaariselle tuoteperheelle. Tämä pitää sisällään asiakasympäristön optioineen ja näihin liittyvät työtavat. Asiakasvaatimukset ja tarpeet vaikuttavat perusteisiin, joiden pohjalta tuotevalikoima osioidaan. (Pakkanen 2015, s.195).

### **3.12.5 Askel 5: Alustava tuoteperheen kuvaus**

Viidennen askeleen tarkoitus on jatkaa rationaalisuuden määrittelyä tuoteperheelle ja analysoida mitä elementtejä ja mahdollisuuksia geneerisissä elementeissä on osien ja kokoonpanojen standardisoinnille. Harlou (2006) tarjoaa tähän kolme näkökulmaa, asiakas-, -suunnittelu- ja osanäkökulman. Näkökulmat ovat esiteltynä tarkemmin teorian kappaleessa 3.9. Asiakasnäkökulma esittää markkinoiden varianssin, suunnittelunäkökulma kuvaa tuoteperheen ja osanäkökulma riippuu tuotantosysteemistä. Tässä askeleessa asiakasnäkökulma sisältää pääasiakasvaatimusryhmät, jotka aiheuttavat muuntelun tarvetta



tuotteissa. Brownfield-prosessin versio on hieman modifioitu versio PFMP-lähestymisestä. Kuvassa 29 on esitetty Brownfield-prosessissa käytettäväksi ehdotettu muokattu PMFP-malli. (Pakkanen 2015, s.197.)



**Kuva 30.** Alustava tuoteperhekuvas seuraten Harloun (2006) PMFP-mallia (Pakkanen 2015, s.197).

Asiakaskontekstin sekä osa- että kokoonpanonäkökulmien ymmärrys on tärkeää tässä vaiheessa. Askeleen yksi päätehtävä on listata pääasiakastarpeet ja vaatimukset, jotka aiheuttava tarvetta erilaisille tuotevarianteille asiakasnäkökulmasta. Tavoite on myös listata osat ja kokoonpanot, jotka ovat nähtävissä kuvan 30 oikeassa sarakkeessa. Tämän jälkeen analysoidaan näiden eri näkemysten välisiä relaatioita. Pakkanen (2015) esittää, että on olemassa kaksi vaihtoehtoa, joilla voidaan lähteä analysoimaan tätä askelta. Aluksi voidaan joko analysoida asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välisiä suhteita tai geneeristen elementtien ja osien välisiä suhteita. Tässä vaiheessa relaatiota joko on tai ei ole. Tavoite on, että jokaiselle asiakastarpeelle on olemassa ainakin yksi geneerinen elementti. Askeleessa tutkitaan kaikkien asiakastarpeiden aiheuttamat variaation tarpeet. Jos pystytään toteamaan geneerinen elementti, jolle ei aiheudu yhtään muuntelua aiheuttavaa tarvetta, sitä kannattaa harkita standardiosaksi. Suuri määrä vaatimuksia yhdelle geneeriselle elementille on modularisoinnin kannalta haasteellista. (Pakkanen 2015, s.197.)

Osien, geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välisien yhteyksien määrittäminen voi auttaa näkemään uusia ja vaihtoehtoisia toteutuksia tuoterakenteessa. Myös yrityksen sisäisistä syistä voi aiheutua varioinnin tarvetta, kuten valmistuksellisten rajoitteiden aiheuttamana. Perusperiaate relaatioita tutkittaessa on, että jokaisella osa- tai kokoonpano variaatiolla tulisi olla yhteys tiettyyn asiakastarpeeseen. Tässä voi kuitenkin olla poikkeuksia, kuten yrityksen sisäiset rajoitukset osien valmistuksessa tai samanlaisia osia ei pystytä valmistamaan samaan tarkoitukseen. Osat tulee organisoida sen mukaan, mihin

elementtiin ne vaikuttavat, jotta erilaisten tuoterakenteiden hahmottaminen olisi helppoa. (Pakkanen 2015, s.197.)

Pakkanen (2015) listaa ohjeita, joita voidaan käyttää määriteltäessä standardointia halutulle rakenteelle. Standardoidessa suurimman osan geneerisistä elementeistä niin, että vain pieni osa varioisi, voitaisiin geneerisiä elementtejä pitää konfiguroitavana elementtinä. Jos standardiosalistaa ei voida löytää elementille, on geneeristä elementtiä vaikea pitää moduulina ilman suuria muutoksia. Tässä tapauksessa vaihtoehtona on jakaa elementti pienempiin kokonaisuuksiin, vaihtaa elementtijakoa tai teknisiä ratkaisuja. Jos standardisoitua osakokonaisuutta ei löydy näillä keinoin, geneerinen elementti tulee määritellä uniikiksi elementiksi, joka ei ole osa tuoteperhettä. (Pakkanen 2015, s.197.)

Kun näkökulmat selkeytyvät ja relaatioita analysoidaan, voidaan löytää mahdollisuuksia käyttää samoja osia ja kokoonpanoja geneerisissä elementeissä, jotka palvelevat erilaisia toimintoja. Tämä lisää yhteisiä piirteitä tuoteperheessä. Yhteisissä piirteissä on myös vaa-roja, sillä jos tuotteen eri versiot vaikuttavat liian samanlaisilta, voi tällä olla negatiivisia vaikutuksia tuotteen brändiin haettaessa selkeää erottelua eri tuotteiden välille. (Pakkanen 2015, s.198.)

Systeemin monimutkaisuus on suoraan riippuvainen elementtien ja relaatioiden määrästä. On siis helpompaa hallita geneeristä elementtiä, jolla on vain kohtuullinen määrä asiakastarpeita hallittavana. Geneeristen elementtien sisältö on myös helpompi määritellä, jos asiakastarpeiden muuntelun vaatimukset sijoittuvat tiettyyn osaan geneeristä elementtiä. Jos samaan geneerisen elementin osaan kohdistuu useita eri vaatimuksia, niin tuotevarianttien määrän minimoiminen vaikeutuu. Geneeriset elementit yksinkertaistuvat, kun niissä ei ole ylimääräisiä komponentteja eivätkä ne jaa komponentteja eri elementtien kanssa. (Pakkanen 2015, s.198.)

Yhteenvetona askeleessa harkitaan yhteisten piirteiden lisäämisen mahdollisuuksia nykyiseen tuotteeseen ja tarvittavien varianttien määrä kaikkien asiakastarpeiden tyydyttämiseen. Askeleen tuloksena on alustava rakenne tuoteperheelle, joka pitää sisällään asiakkaan, geneerisen elementin sekä osa- ja kokoonpanon näkemysten väliset relaatiot. Askel siis auttaa selkeyttämään tuotteen lopullista osiointirakennetta, moduulirakennetta ja konfiguraatiotietoa moduulirakenteen elementeille. (Pakkanen 2015, s.199.)

### **3.12.6 Askel 6: Alustavan konfiguraatiotiedon määrittäminen**

Tässä askeleessa keskitytään alustavan konfiguraatiotiedon määrittämiseen. Askeleen tarkoitus on alustaa moduulien määrittystä ja lopullisen konfiguraatiotiedon määrittystä. Tavoite on selkeyttää geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten välisiä relaatioita. Eli mitkä asiakastarpeet pitää ottaa huomioon missäkin geneerisessä elementissä, määri-

tellään tuotteen rakennetta. Konfigurointitiedon selkeytys on tärkeää varsinkin mahdollisten myyntikonfiguraattorien rakentamista varten, mutta se helpottaa myös jälkeenpäin tehtävien päivitysten ja lisäysten tekoa tuoterakenteeseen. (Pakkanen 2015, s.199.)

Relaatioita teknisen ja asiakasnäkökulman välillä ehdotetaan tutkimaan käyttäen kappaleessa 3.11 esitettyä K- ja V-matriisimetodia. Alkuperäisessä metodissa relaatiot ovat kyllä ja ei tyypisiä. Tässä tapauksessa tekninen näkökulma ei ole vielä tarkkaan määritetty, joten voidaan käyttää monipuolisempia relaatioita eri elementtien välillä. Ehdotuksena on käyttää seuraavanlaisia relaatioita (Kuva 31): Asiakasvaatimus vaatii geneerisen elementin, asiakasvaatimus poissulkee geneerisen elementin, asiakasvaatimus saattaa vaikuttaa geneeriseen elementtiin ja asiakasvaatimus ei vaikuta geneeriseen elementtiin. Matriisimuotoista esityksen tuloksia käytetään myöhemmissä vaiheissa lopullisen konfiguraatitiedon esittämiseen, kun tekninen näkökulma on esitetty tarkemmin. Tässä mielessä esitetty matriisi on vielä turhan tarkka tähän vaiheeseen, mutta kyseisen pohjan käyttö on silti suositeltavaa. Myöhemmin matriisia voidaan täydentää ja tarkentaa. Tavoite on määrittää yhteydet asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välillä. (Pakkanen 2015 s.200.)

**Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)**

(1) Customer need requires generic element  
 (2) Customer need excludes generic element  
 (3) Customer need might affect generic element  
 (empty cell) Customer need does not affect generic element

| GENERIC ELEMENTS  | CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS | CUSTOMER NEEDS        |  |  |                       |  |  |                       |  |  |                       |  |  |
|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|--|-----------------------|--|--|-----------------------|--|--|-----------------------|--|--|
|                   |                                      | Customer need group 1 |  |  | Customer need group 2 |  |  | Customer need group 3 |  |  | Customer need group 4 |  |  |
| Generic element 1 |                                      |                       |  |  |                       |  |  |                       |  |  |                       |  |  |
| Generic element 2 |                                      |                       |  |  |                       |  |  | 1                     |  |  |                       |  |  |
| Generic element 3 |                                      | 1                     |  |  | 1                     |  |  |                       |  |  |                       |  |  |
| Generic element 4 |                                      |                       |  |  | 1                     |  |  |                       |  |  |                       |  |  |

**Kuva 31.** Esimerkki modifioidusta K-matriisista (Pakkanen 2015, s.201).

Relaatioita vertaillaan yleisellä tasolla ja tarkoituksena on saavuttaa yleinen kuva perusteista variaatiolle (Kuva 31). Matriisissa geneeriset elementit on listattuna vasempaan reunaan riveille ja asiakastarpeet kolumneihin. Kyseisten rivien ja kolumnien risteyskohdissa merkitään näiden väliset relaatiot, kuten aiemmin esitettiin. Matriisiesityksestä nähdään mitkä elementit soveltuvat yhteen minkäkin asiakastarpeen kanssa. Askeleen tuloksia tarvitaan seuraavissa vaiheissa, kun määritellään lopullisia moduuleita ja rajapintoja sekä lopullista konfiguraatitietoa. (Pakkanen 2015, s.201.)

### 3.12.7 Askel 7: Moduulien ja rajapintojen määrittäminen

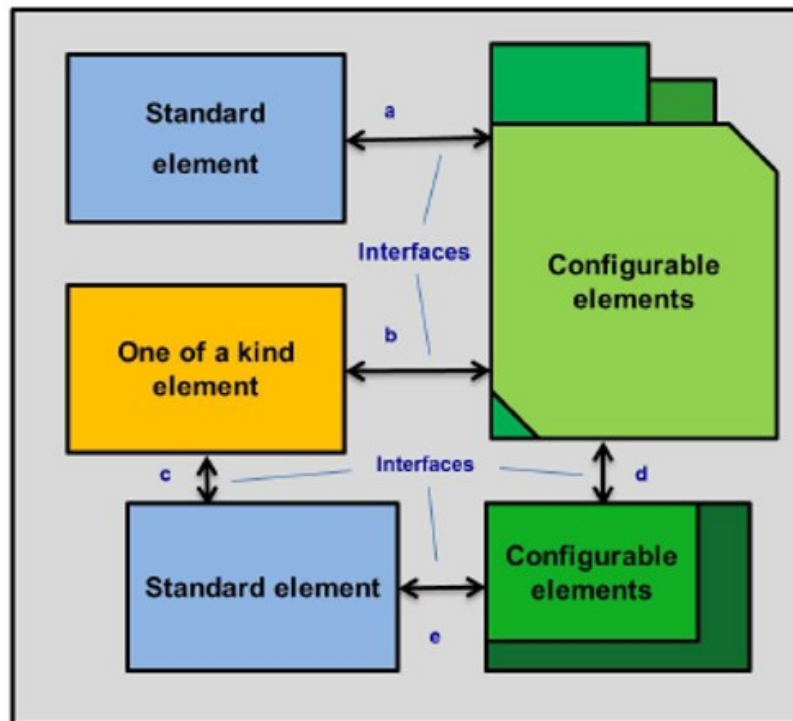
Askel seitsemän on tärkeä osa modularisointiprosessia, sillä se mahdollistaa konfiguroinnin etuja. Tässä askeleessa keskitytään moduulien ja rajapintojen määrittelyyn. Modulaarisen tuoteperheen rakenne suunnitellaan tarkemmin. Tuotteesta pitää tunnistaa, standardoidut, konfiguroitavat, osittain konfiguroitavat ja uniikit elementit. Aiemmissa askelissa on kerätty modulaarisuuden perusteet asiakas- ja yritysympäristössä. Olemassa olevien tuotteiden rakennetta on tutkittu ja alustava kuvaus tuoteperheestä on luotu. Tässä vaiheessa keskitytään arkkitehtuurin, geneeristen elementtien ja rajapintojen tarkempaan määrittelyyn. Ennen kuin tuoteperheen määrittelyä pystytään jatkamaan, tulee tässä vaiheessa kaikkien rakennetta rajoittavien tekijöiden olla tunnettuja. Tulee tietää myös mitä mahdollisuuksia on osien standardisoinnissa, arkkitehtuurissa ja rajapinnoissa. Aiemmat askeleet ovat jakaneet nämä pienempiin ja hallittavimpiin kokonaisuuksiin. (Pakkanen 2015, s.202–203.)

Osittain konfiguroitava tuoterakenne voi koostua neljästä erityyppisestä alarakenteesta (Kuva 32). Näitä ovat standardi-, konfiguroitava-, osittain konfiguroitava ja uniikkirakenne. Standardituoterakenteella on kaksi tavoitetta: massatuotanto ja tuotesynteesi. Standardituoterakenteessa on uudelleen käytettäviä standardiosia, joita voidaan käyttää yrityksen sisäisissä ja ulkoisissa arvoketjuissa. Standardiosia ei suunnitella osana tilauksia. Konfiguroitavalla tuoterakenteella on kolme tavoitetta: modulisoinnin mahdollistaminen, yhteisten piirteiden hyödyntäminen ja tuotesynteesi. Konfiguroitavassa tuoterakenteessa on standardi- sekä konfiguroitavia osia. Muuntelu saavutetaan eri konfiguraatioissa käyttämällä standardisointia kuten väylä- tai lohkomodulaarisuutta eikä tilausprosessi tarvitse suunnittelua. Osittain konfiguroitavalla tuoterakenteella on myös kolme tavoitetta: tuotetason synteesi, yhteisten piirteiden uudelleenkäyttö ja variaation saavuttaminen konfiguraatiolla tai modularisaatiolla. Osittain konfiguroitava tuoterakenne voi sisältää standardiosia, konfiguroitavia osia, uniikkeja osia ja osittain konfiguroitavia osia. Uniikilla tuoterakenteella on yksi tavoite, uniikki synteesi, joka täyttää juuri sille asetetut vaatimukset. Se voi sisältää niin standardiosia kuin uniikkeja osia. Tässä tapauksessa massatuotannon etuja ei kuitenkaan saavuteta. (Pakkanen 2015, s.74.)



- Olemassa olevat ratkaisut ja osasarjat, jotka liittyvät tiettyyn geneeriseen elementtiin, täyttävät vaihtelun tarpeet. Olemassa olevat osasarjat ovat perusteltuja, sillä niillä on selkeät ja omat vaatimukset variaatiolle.
- On olemassa liian monta osasarjaa tiettyjen geneeristen elementtien ja tarpeiden välisillä rajapinnoilla. Tässä tapauksessa erilaisia osasettejä tulisi vähentää liiallisia osasarjoja.
- Ei ole tarpeeksi erilaisia osasarjoja täyttämään geneeristen elementtien ja vaatimusten väliset vaatimukset.

Vähittäinen suunnittelu vähentää riskejä uuden tuotteen kehityksessä. Brownfield-prosessin tavoite on löytää toimiva ratkaisu ja osakokonaisuus jokaiselle tarvittavalle variantille siten, että arkkitehtuuri voidaan kuvata modulaariseksi. Jos geneeristen elementtien jako muuttuu, myös modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuuri muuttuu. Geneeriset elementit voidaan jakaa vielä pienempiin kokonaisuuksiin, jolloin variaatiota on helpompi hallita. Tämä lisää hallittavien rajapintojen lukumäärää, siinä tapauksessa ettei standardielementtejä pystytä yhdistämään keskenään omaksi suuremmaksi kokonaisuudekseen. Kuvassa 33 on esitettyä esimerkkitilanne geneerisistä elementeistä, niiden tyypeistä ja rajapinnoista. Kahden tai useammat geneerisen elementin rajapinnat tulisivat aina olla standardisoitu tuoteperheessä. Parhaassa tapauksessa kaikki rajapinnat ja tilavaraukset ratkaisuille ovat tiedossa ja otettu huomioon modulaarisessa arkkitehtuurissa. (Pakkanen 2015, s.206.)



**Kuva 33.** Esimerkki arkkitehtuurista, joka sisältää erilaisia elementtejä (Pakkanen 2015, s.206).

Suunnitellessa tuoteperhettä tavoite ei ole pelkästään löytää soveltuvaa ratkaisua jokaiselle tarpeelle, vaan myös yleinen arkkitehtuuri pitää ottaa huomioon. Tässä tavoite on analysoida jokaista osasettiä geneeriseen elementtiin liittyen, jotta päästään arvioimaan sen rajapintoja toisten elementtien kanssa. Standardoidut rajapinnat ovat keskeisiä suunniteltaessa modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuuria. Askeleen tuloksia tarvitaan lopullisen konfiguraatitiedon määrittämiseen, mikä on keskeistä asiakastarpeet täyttävien tuotevarianttien määrittämiseksi. (Pakkanen 2015, s.207.)

### 3.12.8 Askel 8: Konfiguraatitiedon lopullinen määrittäminen

Kahdeksannessa askeleessa määritellään lopullinen konfiguraatitieto. Askeleessa kuusi tätä käsiteltiin jo alustavasti, mutta tässä askeleessa siihen lisätään geneeristen elementtien sisältö (Kuva 34.) käyttämällä askeleessa seitsemän määriteltyjä ratkaisuja. Askeleen tulokset ovat tärkeitä osoittamaan selkeästi, mikä tekninen ratkaisu vastaa mitäkin asiakastarvetta. Tarkoituksena on esittää asiakastarve ja ratkaisuparit. Jos askeleessa huomataan, että asiakastarpeet eivät täytä tärkeää markkina-aluetta, pitää modulaarista arkkitehtuuria vielä arvioida palaamalla aiempiin askeliin. (Pakkanen, 2015, s.208.)

**Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)**

(1) Customer need requires generic element / solution  
 (2) Customer need excludes generic element / solution  
 (3) Customer need might affect generic element / solution  
 (empty cell) Customer need does not affect generic element / solution

|                   |   | CUSTOMER NEEDS        |                   |                   |                       |                   |                   |                       |                   |                   |                       |                       |     |
|-------------------|---|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----|
|                   |   | Customer need group 1 |                   |                   | Customer need group 2 |                   |                   | Customer need group 3 |                   |                   | Customer need group 4 |                       |     |
|                   |   | Customer need 1.1     | Customer need 1.2 | Customer need 1.3 | Customer need 2.1     | Customer need 2.2 | Customer need 3.1 | Customer need 3.2     | Customer need 3.3 | Customer need 3.4 | Customer need 3.5     | Customer need group 4 | ... |
| GENERIC ELEMENTS  | CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS  |                       |                   |                   |                       |                   |                   |                       |                   |                   |                       |                       |     |
| Generic element 1 | Solution "Alpha" (Standard element)   |                       |                   |                   |                       |                   |                   |                       |                   |                   |                       |                       |     |
| Generic element 2 | Solution "Beta" (Configurable element)<br>Solution "Zeta" (Configurable element)<br>Solution "Theta" (Configurable element) |                       |                   |                   |                       |                   | 1                 | 1                     | 1                 |                   |                       |                       |     |
| Generic element 3 | Solution "Iota" (One of a kind element)   | 1                     | 1                 | 1                 | 1                     | 1                 |                   |                       |                   |                   |                       | 1                     |     |
| Generic element 4 | ...   |                       |                   |                   | 1                     |                   |                   |                       |                   |                   |                       |                       |     |

**Kuva 34.** Modulaarisen tuoteperheen täydellinen konfiguraatitieto (Pakkanen 2015, s.209).

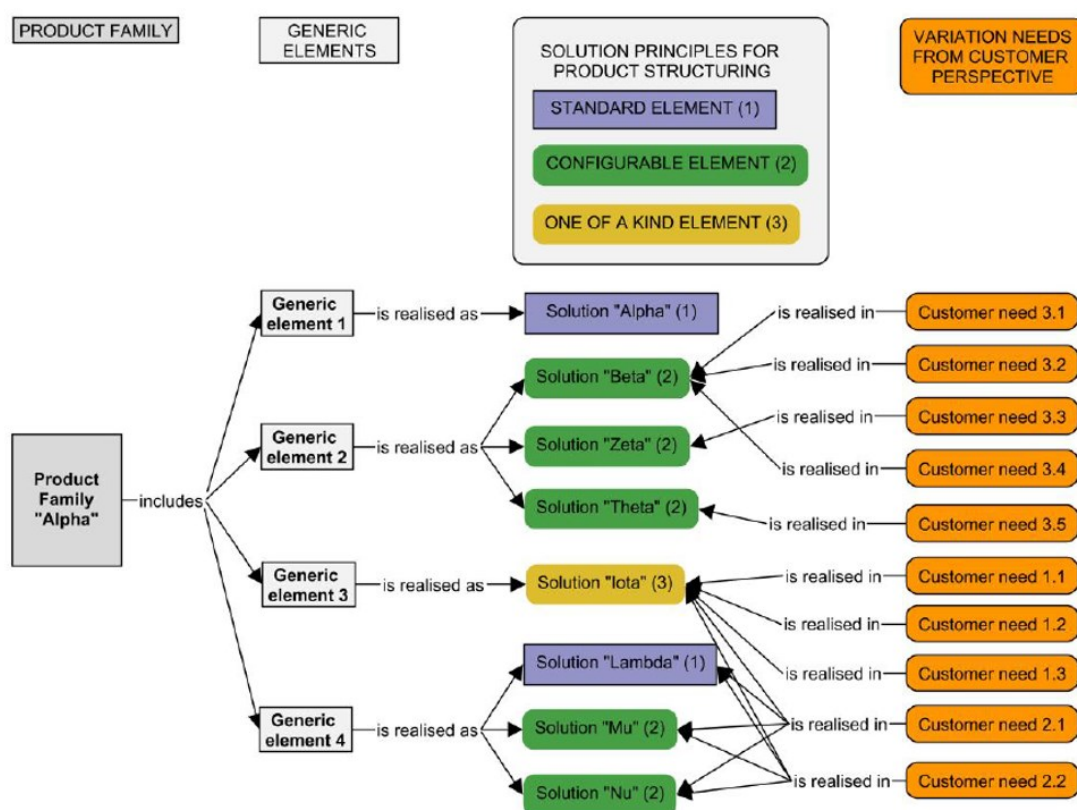
Prosessi ehdottaa, että geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välisiä relaatioita tarkastellaan esitetyllä K-matriisilla ja neljällä eri näkökulmalla (Kuva 34). Nämä ovat: Asiakastarve tarvitsee geneerisen elementin tai ratkaisun, asiakastarve poissulkee geneerisen elementin tai ratkaisun, asiakastarve saattaa vaatia geneeristä elementtiä tai ratkaisua ja tyhjä solu tarkoittaa, että vaikutussuhdetta ei ole. Tässä askeleessa yhteensopivuudet eri geneeristen elementtien ja niiden sisällöin kanssa voidaan myös visualisoida. Tähän ehdotetaan työkaluksi kappaleessa 3.11 esitettyä V-matriisia. Tällöin ylärivissä ja ensimmäisessä pystykolumnissa on samat elementit ja näiden relaatioita vertaillaan näiden luomassa matriisissa. (Pakkanen 2015, s.209–210.)



Nummela (2006) ehdottamaa matriisimenetelmää voidaan myös käyttää vaihtoehtoisena työkaluna. Suurin ero Bongulielmen (2003) esitykseen on se, että hän yhdistää asiakasnäkökulman, teknisen näkökulman ja tuoterakenteet samaan matriisiin. (Pakkanen 2015, s.141.) Tuoterakenteen visualisointia voidaan käyttää avustamaan ymmärrystä tuotteen modulaarisuudesta. Konfiguraatiomatriisin avulla pystytään analysoimaan haluttua modulaarisuutta sekä paljastamaan uusia mahdollisuuksia modularisoinnissa. (Nummela 2006, s.78.)

### 3.12.9 Askel 9: Tuoteperheen dokumentointi

Modulaarinen tuoterakenne konfiguroitavalle tuotteelle on rakennettu aiemmissa askeleissa. Brownfield-prosessi dokumentoi itsessään prosessia askelten edetessä. Tämän lisäksi prosessiin sisältyy erillinen dokumentaatio, jossa tuoteperhettä käsitellään suunnittelun päättelyketjun näkökulmasta. Brownfield-prosessi ehdottaa käyttämään dokumentointiin Product Structuring Blue Print (PSBP)-työkalua (Kuva 35). Tarkoituksena on esittää tuoteperheen osiointilogiikka ja suunnitteluperusteet. Kuvassa on esitettyä Tuoteperhe, siihen kuuluvat geneeriset elementit koostumuksineen ja näitä ohjaavat asiakastarpeet. (Pakkanen 2015, s.211–212.)



**Kuva 35.** Tuoteperheen dokumentaatioesimerkki, jossa nähtävissä perusteluketju modulaariselle rakenteelle (Pakkanen 2015, s.212).

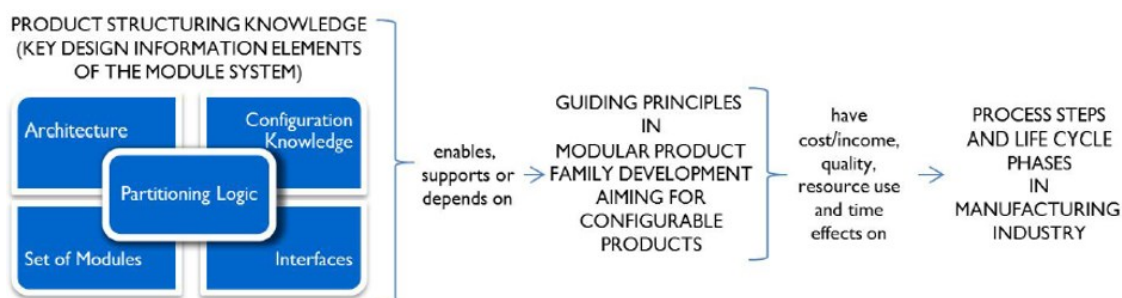
Dokumentaatio tapahtuu pääasiassa askelissa seitsemän ja kahdeksan luodun tiedon perusteella. PSBP-dokumentointi voi osoittautua hyödylliseksi suunnittelussa suunnittelun



uudelleenkäyttöä ja työn suunnittelua. Tämän lisäksi dokumentointi helpottaa suunnittelua, jos asiakastarpeet muuttuvat, aiheuttaen tarvetta muutoksille tuoteperheessä. (Pakkanen 2015, s.212.)

### 3.12.10 Askel 10: Liiketoimintavaikutusten arviointi

Muuntelu yhdistettynä yhdenmukaistamiseen parantaa tuotteiden kilpailukykyä, jos asiakastarpeet ovat vaihtelevia. Työkaluna tässä vaiheessa on liiketoiminnan vaikutusanalysointimalli (Business impact analysis model), jossa arvioidaan kehitetyn tuoteperherakenteen mahdollisuuksia liiketoimintaympäristössä. Tähän tarvitaan aiempien askelten lisäksi ymmärrys toimintaympäristöstä, kustannuksista ja resursseista. Tässä mallinnetaan moduulijärjestelmän yleisiä vaikutuksia prosessien askeliin käyttäen ohjaavia periaatteita ja mekanismeja. Askeleessa käydään läpi jokainen liiketoiminnan vaikutusanalyysimallin kohta ja arvioidaan millaisia kustannuksiin ja rahaan liittyviä vaikutuksia voidaan huomata. Tuotekehityksen tulosten analysointi onkin tärkeä osa, jotta voidaan ymmärtää, onko uusi tuote-ehdotus kilpailukykyinen vai ei. Kuvassa 36 on nähtävissä liiketoiminnan vaikutusanalysointimallin peruseriaate. (Pakkanen 2015, s.213.)



**Kuva 36.** Perusidea liiketoimintavaikutusten analysoinnista. (Pakkanen 2015, s.213).

Liiketoiminnan vaikutusanalysointimallissa vasemmalla on nähtävissä moduulirakenteen viisi eri näkökulmaa. Näitä vasemman reunan tuotteen jäsentämisen eri alueiden vaikutuksia verrataan keskellä oleviin ohjaaviin tekijöihin ja mekanismeihin. Ohjaavia tekijöitä ja mekanismeja vertaillaan taas oikealla oleviin tuotantoprosessin yleisiin askeliin. (Pakkanen 2015, s.214.)

## 4. TUTKIMUSSTRATEGIA JA MENETELMÄT

Tutkimusstrategiaksi valittiin case-study eli tapaustutkimus. Tapaustutkimusmenetelmiä pidetään kiistanalaisena tiedonkeruumenetelmänä, mutta se on silti laajasti käytetty menetelmä. Tapaustutkimus mahdollistaa monimutkaisien asioiden tutkimisen ja ymmärtämisen. Menetelmä mahdollistaa kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tiedon käsittelemisen ja auttaa selittämään prosessia ja lopputulosta tutkimalla kaikki tapaukseen liittyvät prosessit. Tapaustutkimus mahdollistaa tiedon analysoinnin mikrotasolla tapauksissa, joissa ei ole mahdollista saada suurta määrää lähtötietoa. Tapaustutkimuksia on toteutettu ja raportoitu laajasti eri tieteen aloilta. (Zainal 2007.)

On olemassa kolmen tyyppistä tapaustutkimusta: tutkivia, kuvaavia ja selittäviä. Tutkiva tapaustutkimus tutkii ilmiötä ja siihen liittyvää tietoa, joka kiinnostaa tutkijaa. Tässä tapauksessa kenttätö ja alustava dataan tutustuminen voi tapahtua ennen kuin tutkimuskysymyksiä tai hypoteeseja ehdotetaan. Kuvaavassa tapaustutkimuksessa kuvataan luontaista ilmiötä, joka esiintyy kohdeaineistossa. Kuvaava tapaustutkimus voidaan esittää tarinankerrontana. Haasteena tällaisessa tutkimuksessa on, että tutkimus pitää aloittaa ilmiötä tukevalla teorialla. Tässä tapauksessa kuvaus ei välttämättä ole tarpeeksi täsmällinen ja tämä aiheuttaa ongelmia tutkimuksen edetessä. Selittävä tapaustutkimus tutkii aineistoa tarkoin niin pinnallisesti kuin syvällisesti, jotta ilmiö pystytään selittämään. Kerättyjen tietojen perusteella voidaan muodostaa teoria, jota voidaan testata. Syiden tutkimista voidaan käyttää selittäviin tutkimuksiin, jossa on todella monimutkaisia ja monimuuttujallisia tapauksia. (Zainal 2007.)

Tapaustutkimukseen liittyy niin etuja, kuin heikkouksia. Etuna on tutkimukseen liittyvän tiedon kerääminen käyttötilanteesta. Tapaustutkimuksessa on mahdollista toteuttaa niin kvantitatiivista, kuin kvalitatiivista tiedon analysointia. Tiedon kerääminen todellisista käyttötilanteista ei onnistu muun tyyppisissä tutkimusmenetelmissä. Heikkouksina tapaustutkimuksessa on kurinalaisuuden puute sekä pienet otantamäärät, joiden perusteella tehdään oletuksia. (Zainal 2007.)

Tapaustutkimus soveltui tutkimusmetodiksi, koska käsiteltävän aineiston ja kontekstin väliset yhteydet eivät olleet alussa täysin selviä. Tapaustutkimus soveltuu auttamaan tutkimukseen liittyvien tuotteiden ja prosessien kulun ja yhteyksien ymmärtämisessä. Tämän lisäksi tutkimuksen kohde haluttiin ymmärtää kokonaisuutena eikä vain tämän osittaisia piirteitä. Menetelmäksi valikoitui tutkiva tapaustutkimus ilmiötä tutkivan laatunsa vuoksi ja tietoa käsiteltiin kvalitatiivisesti. Tutkimukseen liittyvää tietoa kerättiin käyttötilanteista, mikä tuki myös tapaustutkimuksen valintaa.

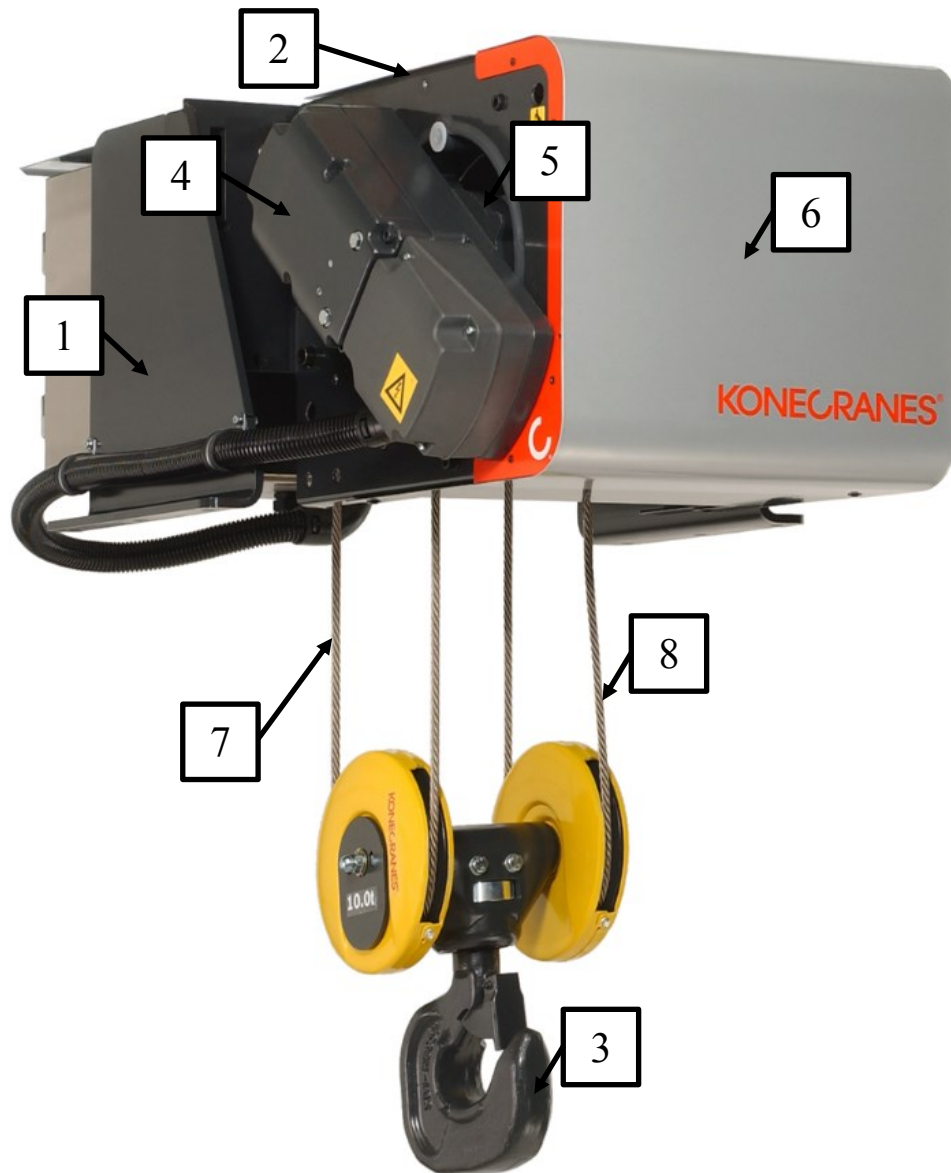
## 5. YRITYKSEN JA AINEISTON ESITTELY

Tässä kappaleessa on esitettyä Konecranes yrityksenä ja työhön liittyvä osuus markkina-alueesta. Lisäksi selvitetään miten tutkimukseen liittyvää aineistoa saatiin kootuksi ja miten se analysoitiin sekä esitetään tähän liittyvä tutkimuksen kannalta oleellinen alan terministö.

Konecranes työllistää noin 16400 työntekijää 600:ssä eri toimipisteessä ja 50:ssä eri maassa. Konecranesin toiminta jakautuu kahteen liiketoiminta-alueeseen: huolto ja varaosapalvelu sekä laitteet. Konecranes tarjoaa erilaisia nostinratkaisuja eri teollisuuden aloille ja satamiin. GENEXT-integraatio, jolloin hankittiin MHPS-yritystoiminta, minkä tarkoituksena on tulla johtavaksi toimijaksi teollisuusnostin ja satamaratkaisuissa. Konecranesin strategiaan kuuluu luottamus ihmisiin, täydellinen palvelusitoutuminen ja jatkuva kannattavuus. Tärkeinä tekijöinä on myös lakien ja eettisten periaatteiden mukaan toimiminen. (Konecranes, 2018.)

Tämän tapaustutkimuksen aineisto kerättiin usealla eri tavalla. Tutkimuksessa hyödynnettiin myös tutkijan omaa kokemusta tutkittavasta kohteesta. Kokemusta on nostinten rakenteesta, komponenteista ja tuotantoprosesseista. Aineistoa hankittiin osallistumalla nostinten kokoonpanoprosessiin ja useampaan erikokoisten nostinten koeajoprosessiin sekä köysitykseen Hämeenlinnassa ja Hyvinkäällä. Lisäksi kerättiin erilaisia parametri- ja optiotietoja aiemmin valmistetuista nostimista sekä kaikki dokumentit nykyisiin koeajolaitteistoihin liittyen. Tietoa kerättiin myös nykyisestä käytössä olevasta tehtaan layoutista ja prosessien kulusta sekä tutustuttiin prosessien olemassa oleviin työvaiheisiin. Työn eri vaiheissa haastateltiin yrityksen omia asiantuntijoita.

Haluttu testauslaitteisto suunniteltiin pääasiassa Hämeenlinnan tehtaan prosessien perusteella. Konecranesilla on kuitenkin 1KC-idea käytössä eli toimintatavat ovat yhdenmukaiset kaikilla toimipisteillä sijainnista riippumatta. Testauslaitteiston on tarkoitus kattaa tulevan CXT-nostinten tuoteperheen korvaavat alle 12500kg kokoluokan koneiston testaukseen liittyvät toimenpiteet. Tämän kokoluokan nostimet ovat massaräätälöitäviä ja pääosin standardiratkaisuihin perustuvia nostimia. Tässä on kuitenkin poikkeuksia eikä nostimelta vaadittavia ominaisuuksia pystytä aina toteuttamaan peruskonfiguraatiolla. Tämä aiheuttaa haasteita suunnittelulle, sillä perustuoterakenteen lisäksi pitää tunnistaa mitkä tuotteen testausprosessiin vaikuttavat ominaisuudet voivat poiketa normaaleista säännöistä. Toinen suuri haaste työssä oli, että laitteisto suunnitellaan nykyisen tuoteperheen korvaajalle. Tätä tuoteperhettä ei ole vielä kokonaisuudessaan edes määritelty. Tiedossa on kuitenkin, että uusi tuoteperhe tulee lopulta täyttämään nykyisen asiakastarve-ryhmän ominaisuudet kokonaisuudessaan. Kerättyä aineistoa analysoitiin käyttäen Brownfield-prosessia ja tämän ehdottamia työkaluja siltä osin, kun suunniteltiin tuotteen arkkitehtuuria ja moduulijakoa.

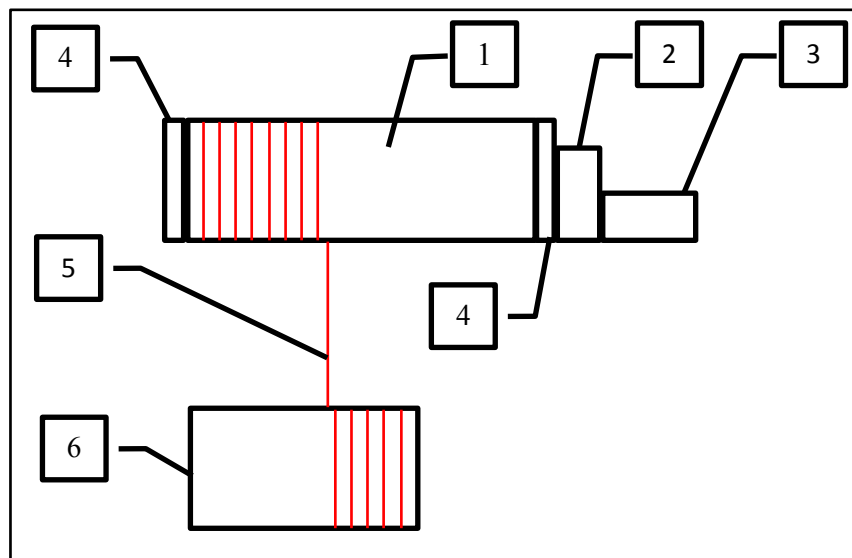


**Kuva 37:** Nykyisen CXT-tuoteperheen kiinteä nostin (Konecranes 2014).

1. Runko
2. Koneisto
3. Koukku
4. Vaihde
5. Moottori
6. Tela (suoja Pellin alla)
7. Rungon pääty
8. Köysi
9. Ohjain (ei näkyvissä)

Kuvassa 37 esitetty nostin koostuu kolmesta pääelementistä: rungosta, koneista ja koukusta. Runkojen mekaniikasta on useita eri versioita ja esitetty versio on niin sanottu kiin-

teä, joka ei liiku, vaan ainoastaan koukku laskee ja nousee. Tutkimukseen liittyvässä koeajolaitteistossa komponentteina on käytössä vain koneisto, moottori, vaihde, tela, rungon päädyt ja köysi. Kuvassa 38 on esitettyä koeajolaitteistoon kiinnitettävä osuus testattavasta nostimesta sekä testausperiaate.



**Kuva 38:** Koeajolaitteiston toimintaperiaatekuva.

Koeajolaitteiston toimintaperiaatekuvassa on esitettyä koeajon kannalta kriittiset komponentit testattavassa nostimessa ja testausperiaate.

1. Testattavan nostimen tela
2. Testattavan nostimen vaihde
3. Testattavan nostimen moottori
4. Testattavan nostimen rungonpäädyt
5. Testattavan nostimen köysi
6. Testauslaitteiston vastatela

Koeajossa on tarkoitus kuormittaa testattavaa nostinta kuormaa vasten. Ohjelmisto kuormituksen simulointiin valitaan nostimen parametrien ja optioiden perusteella. Testattava nostin kiinnitetään laitteistoon koneiston runkolevyistä (4, kuva 38).

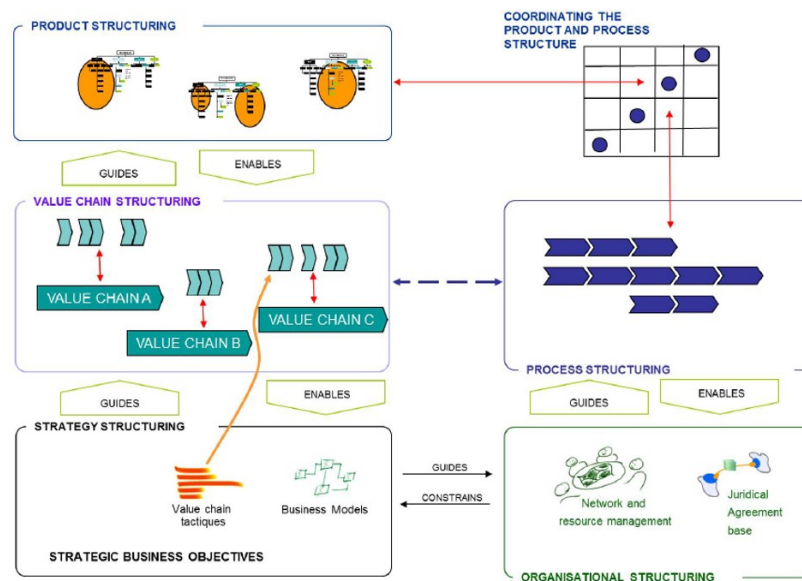
Työn kannalta rungon eri variantit, rajapinnat ja tilanvaraukset ovat merkittäviä. Rungon pituus on parametrisesti modulaarinen. Rungon päädyn koko ja kiinnitystapa vaihtelee hieman variantista riippuen. Tämän lisäksi rungossa käytetyn köyden laatu ja sen asettelutapa koneiston telalle vaihtelevat. Köysi voi olla telalla joko keskitetysti tai reunasta reunaan vaeltava.

## 6. SUUNNITTELUA KÄYTTÄEN BROWNFIELD-PROSESSIA

Tässä kappaleessa käsitellään tulosten muotoutumista tutkimuksen edetessä. Tutkimusongelmaa lähestyttiin Brownfield-prosessin askelia seuraten. Poiketen alkuperäisestä järjestyksestä ensimmäisen askeleen jälkeen käsiteltiin askel neljään liittyviä asiakasympäristön vaikutuksia ja tätä kautta luotiin kuva siitä mitä kaikkia vaatimuksia laitteiston rakenteelle kohdistuu ja mihin aiheuttajaan ne liittyvät. Tuloksen muodostamiseen käytetään työn rajauksen puitteissa lähinnä Brownfield-prosessin kuutta ensimmäistä askelta, mutta askeleen seitsemän avulla otetaan kantaa myös geneeristen elementtien laatuun.

### 6.1 Liiketoimintaympäristöön perustuva tavoitteiden asetus

Brownfield-prosessin ensimmäisessä askeleessa lähestymistavaksi valittiin CSL-viitekehys (Kuva 39.), sillä halutut tavoitteet modularisoinnille eivät olleet alussa selkeitä. Haluttiin myös tutkia tarkemmin testauslaitteiston yritykselle arvoa tuottavia tekijöitä ja mahdollisuuksia yhdistää prosessin työvaiheita, jotta modulaarisuutta lähdettiin kehittämään oikeaan suuntaan. CSL-viitekehys soveltui tähän hyvin, sillä se pakottaa arvioimaan eri arvoketjujen tuotteelle luomia vaatimuksia. Tässä vaiheessa tuotteen rakennetta (Product structuring) pidettiin mustana laatikkona (Black Box), jotta pystyttiin keskittymään ja analysoimaan vaatimuksia yritys ympäristöstä ilman syvempää keskittymistä tuoteratkaisuun.



*Kuva 39. CSL-viitekehys (Pakkanen, 2015, s.43).*

Testattavilla nostimilla ja testauslaitteistolla on omat arvoketjut. Koeajolaitteisto vaikuttaa tuotannon osuuteen testattavan nostimen arvoketjussa. Välillisesti koeajolaitteistolla on myös ennaltaehkäiseviä vaikutuksia valmistettavien nostinten huolto- ja korjaustoimenpiteiden vähentämiseen. Koeajolaitteistoa käytetään valmistettavan tuotteen testaukseen osana tuotantoprosessia. Koeajolaitteistoon ja sillä toteutettaviin prosesseihin tunnistettiin vaikuttavan useita arvoja lisääviä tekijöitä ja riskejä. Riskeiksi nousevat erikoisnostimet, joiden ominaisuudet poikkeavat perinteisistä konfiguraatiosäännöistä. Tuntemattomat ominaisuudet ovat esimerkiksi huomattavasti normaalia suurempi nostokoneiston pituus, joka aiheuttaa mekaanisessa toteutuksessa konfiguraatiosäännöt ylittäviä mittoja. Tämä aiheuttaa riskinhallinnan tarvetta tiettyihin komponentteihin. Tätä voidaan kompensoida suunnittelemalla skaalautuvia ratkaisuja ja lisäämällä rajapintoja, jotka mahdollistavat protovaiheen testaukselle sopivan skaalautuvuuden määrittämisen ja myöhemmän joidenkin ominaisuuksien laajentamisen. Arvoketjut kuvaavat tässä myös haluttujen toiminnollisuuksista aiheutuvien etujen etsimistä ja selvittämistä.

#### Koeajolaitteiston arvoketju

1. Tuotekehitys ja suunnittelu
  - a. Yksi muunneltava laitteisto
2. Valmistus
  - a. Omien komponenttien käyttö
  - b. Oman osaamisen käyttö
3. Asennus ja testaus
  - a. Helposti siirrettävissä
  - b. Prototestaus
4. Tuotteen käyttö
  - a. Helppokäyttöisyys
  - b. Tehokkuus ja lyhyet läpimenot
  - c. Joustavuus poiketessa ennalta määritellyistä testattavan tuotteen konfiguraatiosäännöistä
5. Ylläpito
  - a. Huolto yksinkertainen ja halpa
6. Päivitys
  - a. Laajennettavissa ja päivitettävissä joiltain ominaisuuksilta

Tuotteen rakenteelle määriteltiin myös kriittiset tavoitteet. Näitä olivat muun muassa suurin vaiheaika, turhien vaiheiden karsiminen, laitteen tilankäyttö, päällekkäisyyksiä omaavien työvaiheiden yhdistäminen mahdollisuuksien mukaan ja mahdollisimman laaja testattavan tuoteperheen kattavuus. Arvoketjujen strukturoinnin lisäksi myös korkean tason asioiden sisällyttämistä otettiin huomioon yrityksen strategiasta.

CSL-viitekehystä käydessä läpi, tavoitteeksi asetettiin mahdollisimman pitkälle konfiguroitava laitteisto. Asetusajat eri konfiguraatioiden välillä haluttiin minimoida, jotta laitteistolle saadaan mahdollisimman lyhyt tuotteiden läpimenoaika. Suunniteltavan kokoluokan koeajolaitteistolle ei ole aiemmin kohdistunut täysin samanlaisia asiakasvaatimuksia, joten koeajolaitteistoon jouduttiin soveltamaan joitain uusia teknisiä ratkaisuja.

Prosessin jäsentämiseen liittyen tässä vaiheessa käsiteltiin köysityksen ja laajemman sähkötestauksen yhdistämistä osaksi koeajoprosessia. Päätökset näistä tehtiin vertailemalla arvoketjujen ja arvoa luovien tekijöiden selvityksessä saatuihin perusteisiin ja osa ehdotuksista pystyttiin rajaamaan heti pois liian pitkien laskennallisten vaiheajojen vuoksi. Tämä olisi johtanut usean testauslaitteiston tarpeeseen, jotta olisi päästy tarvittaviin tuotantomääriin. Usean asian yhdistäminen samaan vaiheeseen ei myöskään tuonut huomattavia ajallisia säästöjä ja tästä aiheutui turhaa riskiä virheellisen tuotteen esiintyessä vasta tuotantovaiheen loppuvaiheessa.

Testauslaite itsessään suunniteltiin jo olemassa olevaan tuotantoprosessiin, mutta tämän lisäksi haluttiin tutkia mahdollisuutta päivittää tuotantoprosessia niin, että saataisiin yhdistettyä työvaiheita, joissa on päällekkäisyyttä. Tässä tapauksessa tuli esiin, että olisiko koneiston testaukseen mahdollista yhdistää enemmänkin tuotteeseen liittyvää sähkötestausta sekä koneiston köysitys. Hyvin nopeasti kävi esille, että laajemman sähkötestauksen yhdistäminen työvaiheeseen olisi lähes mahdotonta yhdellä laitteistolla, johtuen suuresta määrästä vaihtoehtoisia konfiguraatioita. Kun laajemman sähköisen testauksen toteuttamista arvioitiin samassa vaiheessa, huomattiin heti, että vaihe tarvitsee huomattavasti monimutkaisemman laitteiston, kuin pelkän koneiston testaukseen vaadittava laitteisto. Tämän lisäksi testattavien tuotevarianttien määrä lisääntyisi huomattavasti, joka aiheuttaisi lisävaatimuksia tuoterakenteelle. Myös vaiheen aika venyisi huomattavasti pidemmäksi kuin olisi mahdollista, että saavutettaisiin halutut volyymit. Tässä vaiheessa laskettiin karkeasti työtunneista ja tehdastilasta aiheutuvia kustannuksia, joiden perusteella syntyivät päätökset.

CSL-viitekehys auttoi löytämään tuotteen rakenteen kannalta olennaisia asioita. Mutta esimerkiksi prosessien aikojen arviointi ja kehityspotentiaalin etsiminen ei suoranaisesti tullut CSL-viitekehysten kautta, mutta kehys selkeytti näissäkin tavoitteita. Köysityksen yhdistäminen samaan vaiheeseen vaikutti huomattavasti toteutettavammalta, sillä se ei vaatinut mitään ylimääräisiä toiminnollisuuksia laitteistolta itseltään. Suurimmaksi heikkoudeksi osoittautui tällöin syntyvä vaiheen pitkä ajallinen kesto. Vaiheen kestolla itsellään on keskiarvollinen yläraja, sillä tuotannosta on mentävä tietty määrä tuotetta läpi. Kestoa saatiin kuitenkin karsittua tutkimalla nykyisen testausprosessin ja köysitysprosessin vaiheita ja aikoja, joissa työntekijä ei tee tuottavaa työtä, vaan odottaa seuraavan työvaiheen alkua. Jos köysitys ja testaus olisivat yhdistettynä samaan vaiheeseen siten, että toista koneistoa köysitetään, kun toiseen suoritetaan koneiston testaus, niin voitaisiin työntekijän tuottamaton aika hävittää. Jos kuitenkin halutaan päästä täyteen tuotantomää-



rän potentiaaliin, niin köysitys tarvitsee oman työvaiheen. Testausprosessi päädyttiin toteuttamaan aluksi täysin tällä kyseisellä laitteella, mukaan lukien köysitys, mutta kun laitteisto otetaan mukaan koko tuotantoprosessiin, köysitys todennäköisesti pysyy omana vaiheenaan.

Tavoitteeksi selkeytyi toteuttaa laitteiston suunnittelu ja ylläpito yrityksen omalla henkilöstöllä. Tämä pitää sisällään mekaanisen toteutuksen, sähköisen virransyötön ja ohjauksen sekä huollon ja ylläpidon. Tilanteessa, jossa osa suunnittelusta toteutetaan alihankintana, on tärkeää, että käytetyt ohjelmistot ovat linjassa yrityksessä käytettävien kanssa ja yrityksen omat asiantuntijat mukana määrittelyssä. Suunniteltaessa arkkitehtuuria, tulee pitää mielessä huollon tarvitsemat työskentelytilat ja rajapinnat niin, että mahdollisten osien vaihtaminen onnistuu ilman turhaa laitteiston purkamista. Tämän lisäksi dokumentointi pitää olla tehty riittävällä tasolla. Käyttöarvo tulevaisuudessa tarkoittaa varautumista mahdollisiin muutoksiin asiakastarpeissa. Tuoteperheen kattavuudessa halutaan pystyä toteuttamaan koko testaukseen valittu tuoteperhe ja ainakin peruskonfiguraatio-sääntöjen sisällä olevat nostimet keskimäärin alle 20 minuutin vaiheajalla. Tilankäytölle ei ole suoraa arvoa, mutta tavoitteena on mahdollisimman kompakti laitteisto. Nykyisen testauslaitteiston lattiapinta-alaa tutkittiin myös ja siinä otettiin tavoitteeksi saada vastaava tai pienempi pinta-alan varaus. Turvallinen ja ergonominen käyttöympäristö ovat tärkeitä ja yritysten arvojen mukaisia. Tämän lisäksi halutaan yksinkertainen, mutta mahdollisimman joustavan tuotannon materiaalivirran mahdollistava laitteisto.

Tutkittaessa Brownfield-prosessin (Luentokalvot 2018) esitapauksia huomattiin, että ”plug-and-play”-tyyppinen ratkaisu soveltuu todennäköisesti sähköisten liitäntöjen kiinnitysten testaukseen. Tämän lisäksi yhteneväisyyksiä löytyi ratkaisusta, joka sisältää perusrungon sekä konfiguroitavia osia ja optioita. Testattava tuote pitää kyllä sisällään muutamia erilaisia malleja, mutta näissäkin ratkaisut ovat keskenään hyvin yhteneviä.

Cause-and-effect-diagrammia ei suoranaisesti käytetty konseptoinnissa, mutta kun tavoitteet selkenivät, oli tästä diagrammista myös hyötyä (Kuva 40).



määrittelemisessä. Tässä tapauksessa tilanne on hieman perinteisestä tuotteen modulointihaasteesta poikkeava, sillä kyseistä tuotetta ei todennäköisesti valmisteta montaa yksilöä, mutta se tulee osaksi tuotantoprosessia, jossa tulee vuodessa useita tuhansia käyttökertoja. Testauslaitteistolla on näin välillisesti vaikutusta tuotettavan tuotteen valmistuskustannuksiin. Edelliset testauslaitteistot ovat toimineet kymmeniä vuosia ja ne on kehitetty kerääntyneen kokemuksen pohjalta. Näistä on kerätty parhaat piirteet ja epäonnistumiset, joiden perusteella arkkitehtuuria on päivitetty. Toiminnallisuudet vaihtuvat suurelta osin eri testausparametreissa, joten tämä aiheutti haasteita yhden tuoteperheen sisällä universaalin testauslaitteiston kehittämiseen.

Suunnitteluun vaikuttavia periaatteita löydettiin useita, kun tavoitteena oli muunneltava laitteisto, joka mahdollistaa tilan tehokkaan käytön. Tuotannon vaiheessa käytettävä aika on rajallinen ja riippuvainen vaiheen laajuudesta. Tuotannossa pitää päästä tiettyyn kapasiteettiin. Testaukseen kuluvan ajan raja-arvoksi määritettiin keskimäärin noin 20 minuuttia. Eri tuotevarianttien välillä on eroja vaiheen kestossa. Koska tietyt asiat testauksessa vaativat kiinteän ajan, pyrittiin testauslaitteiston asetusajat minimoimaan mahdollisuuksien mukaan teknisillä ratkaisulla. Omien komponenttien ja osaamisen käyttäminen mahdollisuuksien mukaan todettiin tärkeäksi eri projektin vaiheissa. Omien sähkömoottorien ja vaihteiden ominaisuuksista on niin paljon tietoa, että se helpottaa huomattavasti ohjauksen luomista ja säätämistä. Laitteistolle arvoa luovia jäsentämisperusteita listattiin seuraavia:

- huollettavuus
- tuoteperheen kattavuus
- käyttöarvo tulevaisuudessa
- testauslaitteistolla toteutettavien vaiheajojen pituus keskiarvoisesti alle 20 minuuttia
- tilankäytön minimointi
- turvallisuus
- käyttöergonomia
- oman talon sisäisen osaamisen käyttäminen suunnittelussa ja ylläpidossa
- yksinkertaiset tekniset ratkaisut ja käyttövarmuus
- materiaalivirran joustavuus.

Huolettavuus pitää sisällään yleiset ylläpitävät ja korjaavat huoltotoimenpiteet. Tuoteperheen kattavuudella tarkoitetaan sitä, että koeajolaitteisto pystyy hallitsemaan kaikki Brownfield-prosessiin valitut tuotevariantit. Tulevaisuuden käyttöarvolla tarkoitetaan asiakastarpeiden muutosta tulevaisuudessa niin, että nykyiset konfiguraatiosäännöt muuttuvat. Esimerkiksi halutaan päästä nykyistä suurempiin koeajolaitteiston käyttönopeuksiin. Koeajoprosessin nopeus ja siihen käytetty tila ovat myös parametreja, jotka halutaan minimoida. Laitteiston turvallisuus ja käyttöergonomia ovat yksi tärkeimmistä suunnitteluun vaikuttavista perusteista eikä niissä ole varaa kompromisseille.

## 6.2 Tavoitteiden asetus asiakasympäristöön perustuen

Brownfield-prosessin neljäs askel toteutettiin heti CSL-viitekehityksen jälkeen, sillä haluttu hyödyt ovat vahvasti linkittyneitä asiakkaan toimintaympäristöön ja tuotannollisiin tavoitteisiin. Asiakas on tässä tapauksessa talon sisäinen tuotantoprosessin koeajovaihe. Askeleessa tutkittiin, onko olemassa lähestymistapoja, jotka voisivat helpottaa modulaarisen tuoteperheen tavoitteiden määrittämistä asiakasnäkökulmasta. Tässä käytiin asiakaskontekstia läpi Gripen lähestymisen kysymyksiä hyödyntäen. Syötteinä tässä vaiheessa oli tieto asiakaskontekstista eli käyttöprosessit ja testattavien nostinten tiedot. Käytännössä tutkittiin tuotannon prosesseja, joissa koeajolaitetta käytetään nyt ja mahdollisesti pystyttäisiin käyttämään tulevaisuudessa. Askeleessa selvitettiin asiakasprosessin vaiheet ja mahdolliset parametrit eri prosessivaiheissa, jotka vaikuttavat vaatimuksiin testauslaitteistolta. Selvitetiin muita tekijöitä tai työtapoja, jotka vaikuttavat vaatimukseen testauslaitteistolta.

Askeleessa päätuloksena ovat asiakaskontekstin vaihtoehdot ja prosessit, joissa asiakkaat eli tuotannon työntekijät käyttävät koeajolaitteistoa. Tämä vaikuttaa testauslaitteiston osiologiikkaan ja tietoja tarvittiin tuoteperhekuvauksen määrittelyssä askeleessa viisi ja konfigurointitiedon määrittelyssä geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden avulla askeleessa kuusi. Vaiheessa kerättiin testattavan nostimen testauslaitteistoon vaikuttavia muuntelua aiheuttavia parametreja (Kuva 41).

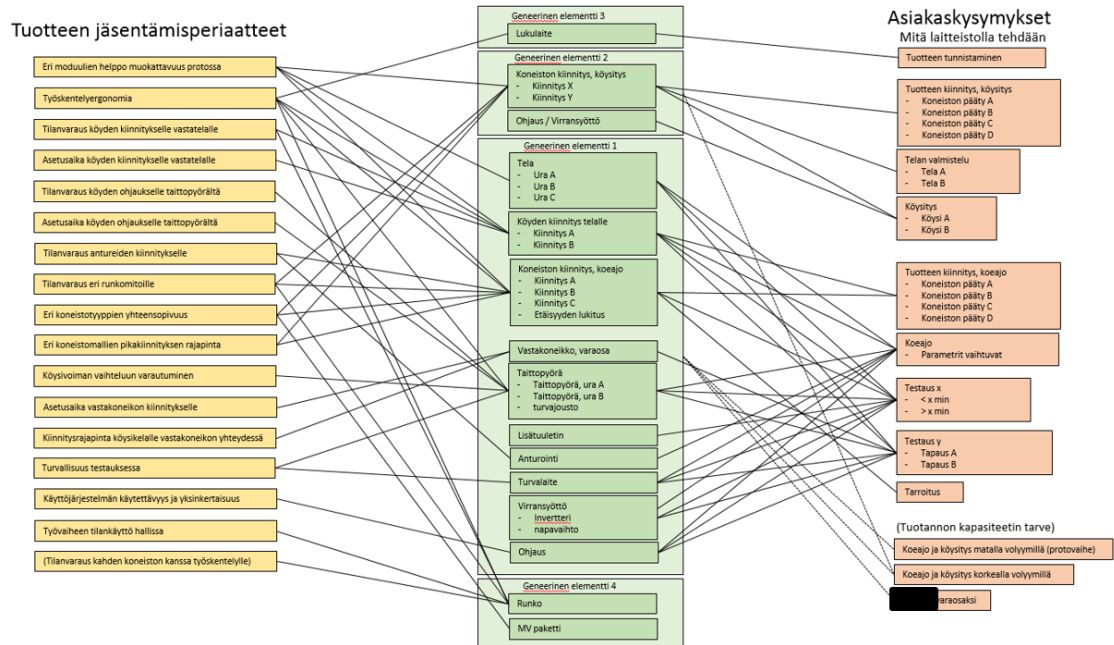
| Nostotyyppi | Koneiston pääty | Telamitta        | Moottorityyppi   | Köysi   | Nostonopeus          | Testauksen Köysivoima |
|-------------|-----------------|------------------|------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| Vaeltava    | A normaali      | 300 mm – 1600 mm | Napavaihto hidas | Köysi A | 2,5 m/min – 10 m/min | 650 kg - 3950 kg      |
| keskiö      | A koneisto      | 1600 + mm        | Napavaihto nopea | Köysi B | x m/min              |                       |
|             | B normaali      |                  | Taajuusmuunnin   | Köysi C |                      |                       |
|             | B koneisto      |                  |                  | Köysi C |                      |                       |

**Kuva 41.** Testattavan nostimen testaukseen vaikuttavia muuttuvia parametreja arvioituna.

Tässä vaiheessa muuntelun tarvetta aiheuttavaksi tekijöiksi koeajettavissa tuotteissa osoittautuivat kuvassa 41 esitetyt tekijät: nostontyyppi, koneiston pääty, telan pituus, sähköiset parametrit, köydet tyyppi, testattavan tuotteen nimelliskuorma ja vaihdemoottori kombinaatio. Sähköiset parametrit eriteltiin tasolla, että nähdään mitkä optiot vaikuttavat laitteiston mekaanisiin ominaisuuksiin ja toteutuksiin.

Tavoitteiden asetuksessa selvitettiin ensin pääasiakaskysymykset. Tarkoituksena oli analysoida asiakkaan toimintaympäristö ja prosessit eli tässä tapauksessa tuotantorakenne ja yrityksen sisäinen asiakkuus. Tässä vaiheessa pyrittiin selkeyttämään myös laitteeseen vaikuttavia optioita, tehtaan layoutia ja tuotannon prosessia. Aiemmassa askeleessa kerätyt jäsentämisperusteet ja nyt Gripen lähestymisen ja tuotantoprosessin analysoinnilla

saadut tulokset kerättiin visualisointiin, johon liitettiin vielä alustava kuvaus koeajolaitteistosta ensimmäisen geneerisin elementtihahmoitelman kanssa (Kuva 42).



**Kuva 42.** Visualisointi geneerisistä elementeistä vertailtuna jäsentämisperusteisiin ja tuotteen käyttöprosessin kautta johdetut asiakaskysymykset.

Visualisoinnin oikean reunan sarakkeeseen on kerätty tuotteen käyttöprosessi ja tähän alle jaoteltuna alustavat testausprosessille muuntelua aiheuttavat tekijät. Visualisoinnissa ei ole vielä otettu kantaa, mitkä tekijät pystytään hallitsemaan teknisillä ratkaisulla ilman testauslaitteiston muuntelua eri testauslaitteissa. Oikealla asiakaskysymysten alla on nähtävissä tuotantoprosessin rakenteeseen liittyvää pohdintaa ja mitkä osat koeajolaitteistosta olisivat tällöin aktiivisina.

Visualisoinnin sisällön mukaista mallia ei ole ohjeistettu käyttämään Brownfield-prosessissa, vaan päädyin tähän yhdistelemällä ideoita Gripen kysymyksistä ja Harloun (2006) modifioidusta PMFP-esityksestä. Halutun laitteiston mekaaniset ratkaisut eivät olleet selviä, joten visualisointia pystyttiin käyttämään näiden harkitsemiseen sen keskiosan alustavassa geneerisessä elementtijaossa. Elementtijako ei ollut lopullinen eikä ottanut kovin syvällisesti vielä kantaa eri muuntelun tarpeiden hallintaan, vaan jaottelu tapahtui enemmänkin mekaanisten kokonaisuuksien perusteella. Mallista on helppo lähteä myöhemmin arvioimaan muuntelun tarpeen vaikutusta ja elementtijakoa tämän perusteella. Visualisoinnin oikealla puolella on esitetty prosessit ja näiden laitteistoon vaikuttavat muuttuvat parametrit, joissa asiakas käyttää testauslaitteistoa. Vasemmalla puolella taas ovat tuotteen jäsentämisperusteet. Jäsentämisperusteet syntyvät niin laitteen mekaanisista vaatimuksista kuin prosesseista, joissa testauslaitteistoa käytetään. Relatiot eri testattavien

nostinkonfiguraatioiden ja geneeristen elementtien välillä selvitettiin keräämällä kuvan 43 mukaista konfiguraatitietoa mahdollisista testattavista nostimista.

**Kuva 43.** Alustava hahmotelma testattavan laitteen eri konfiguraatioiden vaikutuksista.

Kuvassa 43 on konfiguraatitiedon lisäksi matriisiin lisätty kolumniin kolme hahmotelmaa geneerisistä elementeistä ja näiden sisällöistä. Alueen yksi kolumneissa on kerättyä suunnitteluperusteita, joiden relaatioita geneerisiin elementteihin pystytään samalla vertailemaan. Alueen kaksi kolumneissa on kerättyä erilaisia konfiguraatioita, jotka aiheuttavat muuntelun tarvetta itse testauslaitteistoon.

Kuvan 42 visualisoinnin pystyy luomaan yksityiskohtaisemmalla käsityksellä relaatioista kuvan 43 mukaisesti matriisiesityksenä Excelissä, mutta Visuaalinen esitys soveltuu paremmin eri elementtirakenteiden visualisointiin ja yleisten relaatioiden ymmärtämiseen. Vasemmalla puolella on arvoa tuottavista tekijöistä kerättyjä tuotteenjäsentämisperiaatteita. Näiden ja jo olemassa olevien testauslaitteistojen perusteella loin ensimmäisiä runkoja laitteistolle. Tässä kohtaa ei päästy vielä tehokkaasti luomaan toiminnollisuuksien perusteella elementtijakoa, mutta alustava ehdotus koottiin kuitenkin. Vasemman reunan perusteille pystytään tässä antamaan halutessa arvioituja arvoja ja näin vertailemaan eri rakenteiden soveltuvuutta, vaikkei itse mekaaninen arkkitehtuuri ole suunniteltu. Relaatiot eri elementtien, jäsentämisperusteiden ja asiakaskysymyksiä välillä auttoivat selkeyttämään mihin kaikkiin toimintoihin kyseinen tekijä vaikuttaa. Elementit jaettiin tarvittavalla yksityiskohtaisuudella, riippuen miten sen koettiin vaikuttavan jäsentämisperusteisiin tai asiakaskysymyksiin.

Tässä vaiheessa käsiteltiin myös ideapohjalla teknisiä ratkaisuita tunnistettuihin eri muuntelua aiheuttaviin tekijöihin. Tätä kautta huomattiin muuntelun kannalta ongelmallisia tekijöitä, jotka ovat haasteita tavoitteelle toteuttaa testaus yhdellä laitteistovariantilla ja tilatehokkaasti. Keskiönoston ja vaeltavan noston aiheuttamien köysiuransuuntien huomattiin vaikuttavan laitteiston kokoon huomattavasti, mutta tähän kehitettiin ratkaisuehdotelma, jossa testattavan nostimen kiinnitykseen käytetään johteita, jotka mahdollistavat testattavan laitteiston vapaan siirtymisen. Tämä poikkeaa nykyisissä koeajolaitteissa käytössä olevasta kiinteästä kiinnitysratkaisusta selkeästi.

Eri geneeristen elementtien ja näiden alielementtien paremmuutta ja asiakaskysymysten täyttökykyä vertailtiin jäsentämisperusteisiin. Tällä tyylillä saatiin vertailtua erilaisia konseptityyppejä jo hyvin aikaisessa vaiheessa prosessia. Osaan vertailuista pareista pystyttiin laskemaan arvot, mutta osassa kohdissa vertailu tapahtui intuitiivisesti. Täten pystyttiin luomaan suhteellisen vertailukelpoiset arvot erilaisille ratkaisuille. Vertailua läpikäymällä luotiin myös ensimmäinen ehdotus geneerisistä elementeistä, josta lähdettiin liikkeelle seuraavassa askeleessa. Vastaavan esityksen, mutta tarkempana pystyy tekemään hieman muokatulla K-matriisiesityksellä (Kuva 43.), mutta tällainen yksinkertaistettu yhdelle sivulle mahtuva visuaalinen esitys luo paremman yleiskuvan tilanteesta. Tätä kautta saatiin nopeasti rajattua pois ratkaisuja, jotka eivät toteuttaneet haluttuja jäsentämisperusteiden rajaehdoja tai asiakastarpeita. Visalisointi toimi myös keskustelun avaajana, jolla päästiin kiinni erilaisiin ratkaisuehdotelmiin.

### 6.3 Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli

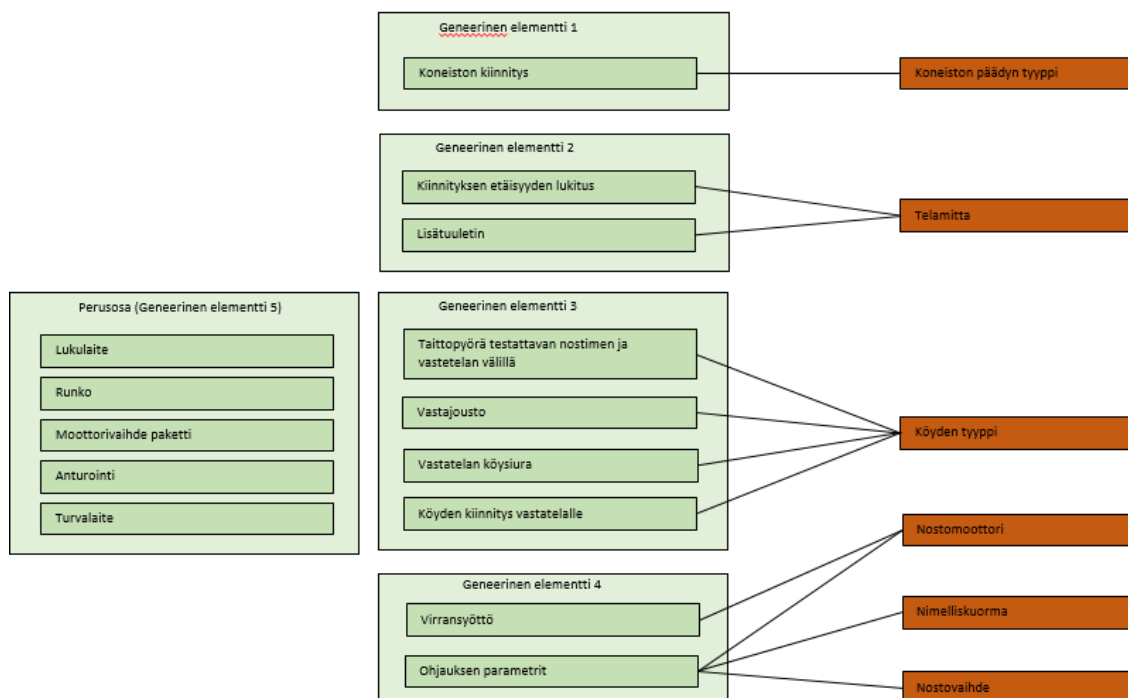
Askeleessa kaksi määritettiin kohdetuoteperheestä muuntelun tarvetta vaativat tekijät. Tekijät aiheutuvat asiakkaan käyttöprosessista ja testattavasta tuotteesta. Aiemmin käsitellyssä askeleessa neljä perehdyttiin tähän asiakasprosessiin ja selvitettiin alustavasti nämä muuntelua aiheuttavat tekijät. Geneeriset elementit voivat olla osakokoonpanoja, toiminnallisia kokonaisuuksia, alasysteemeitä tai yksittäisiä osia. Tässä tapauksessa haluttiin jakaa tuote toiminnollisuuksien mukaan geneerisiin elementteihin. Tässä vaiheessa kiinnitettiin huomiota siihen, että jos eri geneerisillä elementeillä oli useita yhteneväisyyksiä muuntelun tarpeissa, tulisi näille kyseeseen vain yksi geneerinen elementti. Elementtimallia arvioitiin muun muassa 100 % -säännön avulla eli onko ehdotetussa elementtimallissa edustettuna kaikki tuotteet, jotka valittiin prosessiin, vai puuttuuko jotain? Tuotekehityksen, sähkö- ja mekaanisen suunnittelun sisällyttäminen prosessiin tapahtui erinäisissä haastatteluissa ja palaverissa. Prosessia tuki myös tutkijan aiempi kokemus tuotteiden tuotanto- ja koeajoprosessiin liittyen.

Askeleessa selvitettiin myös, mihin ominaisuuksiin kohdistuu todennäköisimmin haasteita, kun ylitetään normaalit konfiguraatioparametrit. Brownfield-prosessiin valittujen tuotteiden rakennetiedoista selvitettiin liiketoimintaympäristön alueet, joissa tuotevalikoiman rationalisointi saattaisi hyödyttää sekä modulaarisen tuoteperheen tavoitteet yri-



tyksen toimintaympäristöstä. Tavoitteiksi selkeytyi toteuttaa ominaisuuksiltaan ja skaalautuvuudeltaan mahdollisimman monipuolinen yksi koeajolaitteisto, joka pystyy hallitsemaan koko halutun tuoteperheen koeajot ja haluttaessa köysitykseen liittyvät toimenpiteet. Geneerinen elementtimalli muodostettiin nykyisin käytössä olevan tuoteperheen konfiguraatioiden ja koeajolaitteistojen pohjalta. Aloituspisteen tarkoituksena oli löytää yhteneväisyyksiä eri koeajettavista tuotevarianteista. Yleisten komponenttien käyttöön pyrittiin eri testausvaatimuksen omaavien nostinten testauksen järjestämisessä. Kun geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten relaatioita arvioitiin, muodostui tarkempi kuvaus geneerisestä elementtimallista. Aloituspisteessä yrityksellä oli erilaisia ratkaisuja koeajon suorittamiseen. Tärkeänä tavoitteena oli selvittää, pysyttäisiinkö nykyiset mekaanisella vastapainolla toteutetut ratkaisut korvaamaan yhdellä vastakoneistotyyppisellä ratkaisulla ja nykyistä laajemmalle tuoteperheelle. Alkuvaiheessa itse rakenteen mekaniikka ei ollut vielä lyöty lukkoon, joten ensimmäisten geneeristen elementtimallien luonti aloitettiin jo olemassa olevien ratkaisuiden ja aiemman vaiheen tulosten perusteella. Lähtötiedoista huomattiin, että nykyisissä laitteissa ei ollut suoraa ratkaisua, joka pystyisi toteuttamaan asetetut tavoitteet.

Vaihe aloitettiin kirjaamalla ylös tunnetut muuntelua aiheuttavat tekijät ja ensimmäinen versio tuotteen geneerisistä elementeistä edellisestä askeleesta (Kuva 44). Ensimmäisessä versiossa geneerisistä elementeistä jokainen muuntelun tarve pysyy yhden geneerisen elementin sisällä, sen hetken tietojen perusteella.



**Kuva 44.** Ensimmäinen versio geneerisistä elementeistä.

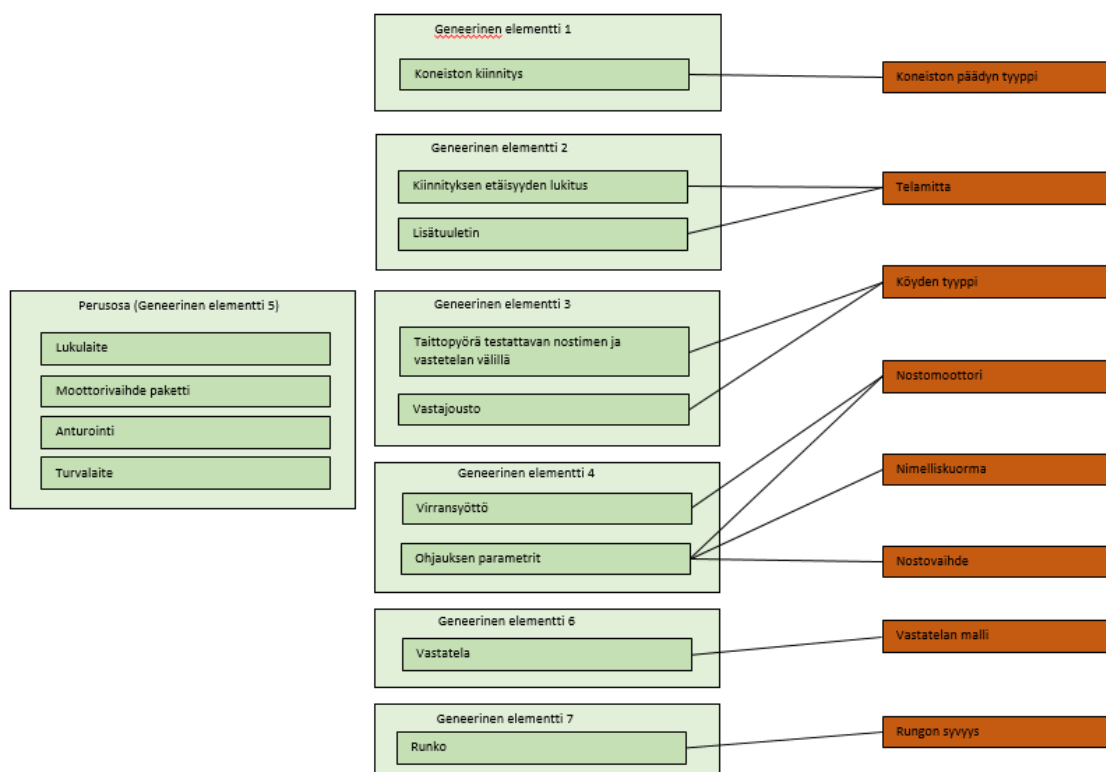
Ensimmäinen versio geneerisistä elementeistä pyrittiin jakamaan siten, että testattavan nostokoneiston muuntelua aiheuttavat parametrit pystytään hallitsemaan kukin yhdellä



geneerisellä elementillä. Geneeriset elementit jaettiin osiin siten, että ne sisältävät kuvaavat osakokonaisuudet, jotka liittyvät muuntelun hallintaan. Loput toiminallisuudet mahdollistavat osakokonaisuudet, joihin ei kohdistu muuntelun tarvetta eri asiakastarpeiden perusteella, koottiin omaan geneeriseen elementtiin. Tätä geneeristä elementtiä pidettiin koeajolaitteiston perusosana.

Tutkittavaksi valitussa tuoteperheessä oli erilaisilla ominaisuuksilla varustettuja köysiä ja köyden käyttäytymisestä vastatelalla oli vielä teknisesti auki kysymyksiä. Geneerinen elementtimalli jaettiin siis kahteen eri osaan, sillä prototestausvaiheessa ja tuotantovaiheessa huomattiin vaikuttavan erilaiset muuntelun tarpeet. Nämä erilaiset muuntelun tarpeet kohdistuivat juuri vastatelan teknisiin toteutuksiin ja niiden testauksen tarpeeseen.

Kuvassa 45 on nähtävissä ensimmäinen versio protovaiheen geneerisestä elementtijaosta. Tässä tapauksessa oli kaksi ylimääräistä muuntelun tarvetta, jotka olivat aktiivisena vain prototestauksen aikana. Testausvaiheessa nähtiin myös mahdollisuus testata joitain teknisiä ratkaisuja, jotka eivät aiheuta normaalissa tilanteessa muuntelun tarvetta. Tähän valittiin vastatelan malli ja tähän liittyvät tekniset toteutukset, pitäen sisällään vastatelan urien mallin ja köyden kiinnityksen. Näin ollen näille määriteltiin tähän testaukseen soveltuvat standardirajapinnat. Nämä rajapinnat eivät ole kuitenkaan samojen suunnitteluperusteiden alla, kuin muut normaalisti muuntelua aiheuttavat asiakasvaatimukset. Esimerkiksi asetusajat eivät ole näiden moduulien vaihtamisessa kriittisiä. Tämä johtuu siitä, että näitä ei ole tarkoitus vaihdella ja säätää enää ensimmäisen testausvaiheen jälkeen. Tämä mahdollistaa kuitenkin rajapintojen hyödyntämisen myöhemmin mahdollisissa huollollisissa toimenpiteissä tai muuttuvissa asiakastarpeissa.



**Kuva 45.** Ensimmäinen versio protovaiheen geneerisestä elementtijaosta.

Protovaiheen jälkeen astuu voimaan kuvan 44 mukainen geneerinen elementtirakenne. Geneerisessä rakenne-ehdotelmassa eri testattavien varianttien välillä muuntelua aiheuttaviksi tekijöiksi ovat jääneet koneiston päädyn tyyppi, telan mitta, köyden tyyppi, nostomoottorin tyyppi, testattavan laitteen nimelliskuorma ja nostovaihteen tyyppi.

## 6.4 Arkkitehtuurin geneeriset elementit ja rajapinnat

Askeleessa kolme alustava arkkitehtuuri on määriteltävä lähtökohtana modulaarisen arkkitehtuurin suunnittelulle. Rakenteen hahmottamisessa käytettiin apuna integroitua PKT-lähestymisen ajatusta auttamaan luomaan kuvaa rakenteesta ja sen takana olevista toiminnallisista perusteista. Askeleen alussa ei ollut vielä selkeää rajaa, koska edelliset askeleet loppuivat, vaan ne olivat varsinkin alussa kesken, kun askeleen kolme tietoa käsiteltiin. Tässä mielessä integroitua PKT-mallia käytettiin hyödyksi jo aiemmissa askeleissa tunnistuessa muuntelua aiheuttavia tekijöitä. Arkkitehtuuri geneerisille elementeille syntyi toimintorakenteen perusteella. Eli eri toiminnallisuudet jakavat rajapinnan toistensa kanssa. Tässä ei siis ole otettu kantaa pelkästään fyysisiin rajapintoihin. Harloun (2006) teorian kappaleessa 3.9 kuvattua arkkitehtuurin määrittäystä käytettiin myös apuna tässä vaiheessa. Syötteeksi edellisestä vaiheesta käytettiin tietoa geneerisistä elementeistä, jotka sisältävät osakokonaisuudet ja alasysteemit. Arkkitehtuurin määrittely aloitettiin selvittämällä relaatiot eri osien, kokoonpanojen, alasysteemien ja teknologia alojen välillä, jotka liittyvät geneerisiin elementteihin. Geneeristen elementtien sisältöjen välisiä

rajapintoja ei tässä vielä tutkittu tarkemmin, sillä niiden sisältö oli päätetty toiminnallisuuksittain, mutta tarkempi sisältö oli vielä auki.

Rajapintaesitykset luotiin käyttämällä Pakkasen (2016) esittämää muokattua DSM-matriisia geneeristen elementtien analysointiin. Arkkitehtuurin määrittelyä helpottamaan käytettiin kuvan 45 mukaista muokattua esitystä proton elementtirakenteen geneerisistä elementeistä. Geneeristen elementtien väliset rajapinnat on esitetty rastilla (Kuva 46).

| Rajapinnat             | Geneerinen elementti 1 | Geneerinen elementti 2 | Geneerinen elementti 3 | Geneerinen elementti 4 | Geneerinen elementti 5 | Geneerinen elementti 6 | Geneerinen elementti 7 |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Geneerinen elementti 1 |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 2 | x                      |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 3 |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 4 |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 5 | x                      |                        | x                      | x                      |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 6 |                        |                        |                        |                        | x                      |                        |                        |
| Geneerinen elementti 7 | x                      |                        |                        | x                      | x                      | x                      |                        |

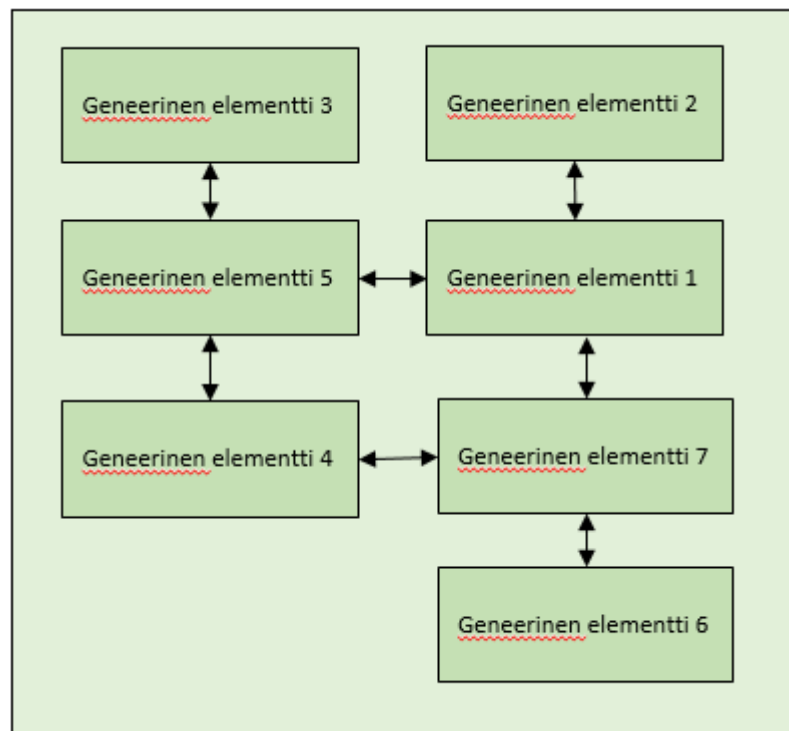
**Kuva 46.** Protovaiheen geneeristen elementtien rajapinnat.

Protovaiheen geneeristen elementtien rajapinnat ovat muuten vastaavat tuotantoversion geneeristen elementtien rajapintojen (Kuva 44.) kanssa, lukuun ottamatta geneeristä elementtiä kuusi ja seitsemän. Käytännössä geneeriset elementit pitävät summana saman verran sisällään, mutta elementti kuusi on tiputettu elementistä kolme omaksi elementikseen ja elementti seitsemän on vastaavasti elementin viisi alikokoonpano. Tämä johtuu siitä, että näille tunnistettiin protovaiheessa omat muuntelua aiheuttavat vaatimukset.

| Rajapinnat             | Geneerinen elementti 1 | Geneerinen elementti 2 | Geneerinen elementti 3 | Geneerinen elementti 4 | Geneerinen elementti 5 |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Geneerinen elementti 1 |                        |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 2 | x                      |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 3 |                        |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 4 |                        |                        |                        |                        |                        |
| Geneerinen elementti 5 | x                      |                        | x                      | x                      |                        |

**Kuva 47.** Tuotantoversion geneeristen elementtien rajapinnat.

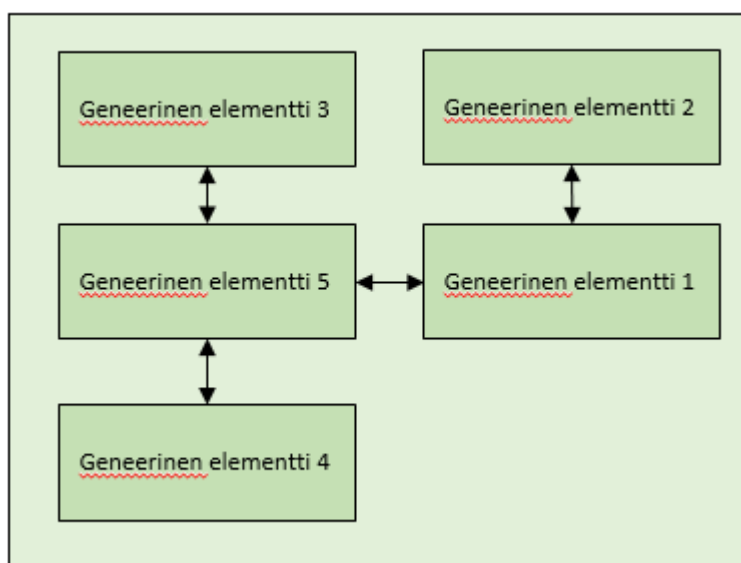
Geneeristen elementtien välisten rajapintojen relaatioita tunnistettiin käyttäen apuna niiden kirjaamista Excelillä DSM-matriisiin. Tämän jälkeen näiden relaatiot visualisoitiin käyttämällä Power Point-ohjelmistoa (Kuva 48. ja 49.).



**Kuva 48.** Protoversion rajapinnat visualisoituna.

Visualisoinnit eivät ota vielä kantaa elementtien tyyppeihin ja eikä sisältöihin. Tämä vaihe sisältää kaikki protovaiheen elementit, mutta elementtirakenne ja sen tarpeet muut-

tuvat testausvaiheen päätyttyä. Elementit eivät sinällään häviä mihinkään tuotantoversiosta. Rajapinnat voivat olla käytännössä pidemmällä asetusajoilla, sillä näiden säätämiseen protovaiheen vaatimuksien perusteella pitää pystyä. Asetusajoista aiheutuvat kustannukset ja arvon lisääntyminen ovat marginaalisia. Riittää, että tässä on olemassa selkeä ja vaatimukset täyttävä rajapinta. Tuotantoversion rajapinnat (Kuva 49.) ovat visualisoituna vastaavasti, ainoa ero on geneeristen elementtien sisältö, kuten kuvan 47 DSM-esityksessä.



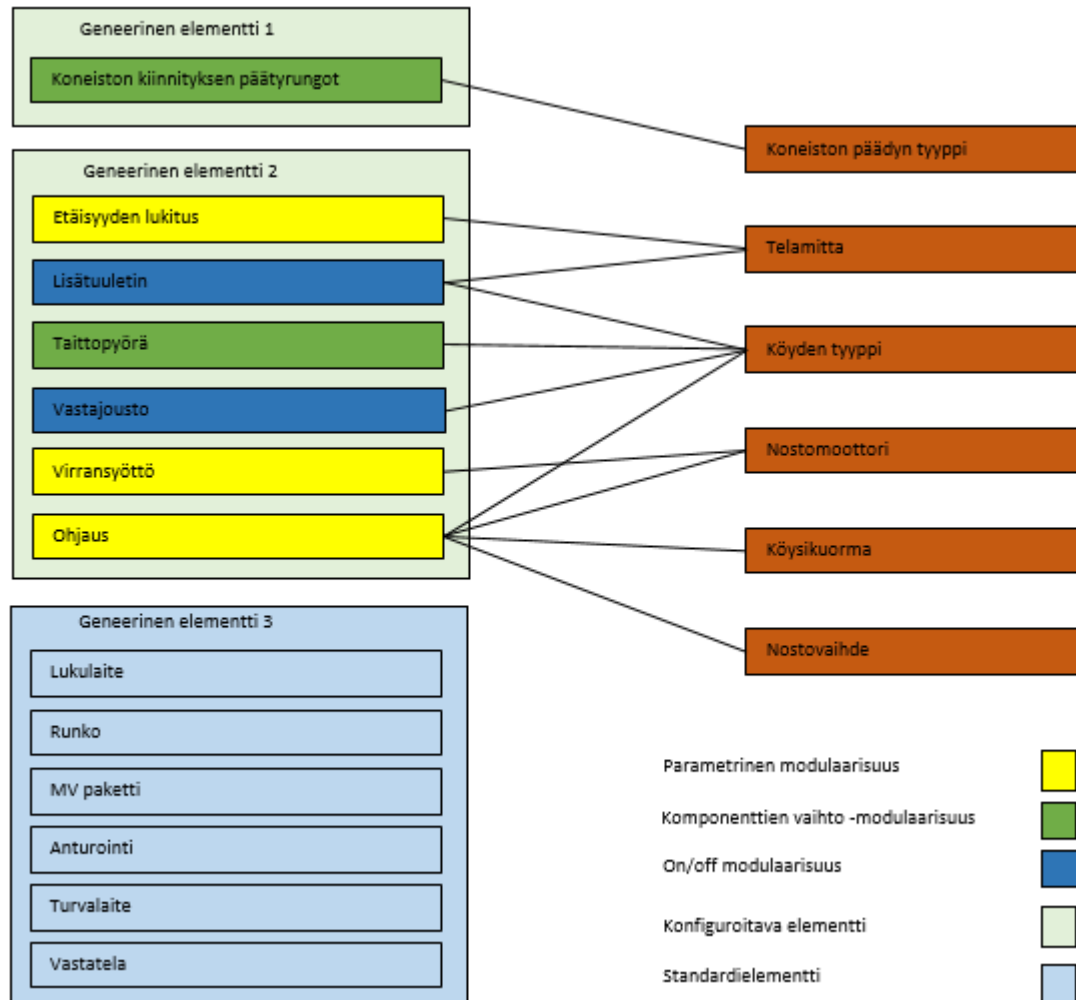
*Kuva 49. Tuotantoversion rajapinnat visualisoituna.*

Päätulokset tässä vaiheessa ovat kuvaus arkkitehtuurista. Kuvaus sisältää geneeriset elementit ja rajapinnat yleisellä tasolla. Tämä edistää moduulien, rajapintojen ja arkkitehtuurin määrittystä ja tuloksia tarvitaan askeleessa kuusi, kun luodaan alustava kuvaus tuoteperheestä sekä askeleessa seitsemän, jossa määritellään rajapintoja ja moduuleita.

## 6.5 Alustava tuoteperheen kuvaus

Askeleen viisi tarkoituksena on luoda alustava tuoteperheen kuvaus, mikä auttaa selvittämään mahdollisuuksia osien ja kokoonpanojen standardisoitiin. Lähestymistapana tuoteperheen määrittelyssä ehdotetaan käyttämään modifioitua PFMP-mallia, jossa yhdistetään asiakkaan näkemys, geneeriset elementit ja osat/kokoonpanot. Osa- ja kokoonpano näkökulmaa on vielä tarkasteltu korkeammalta tasolta ja asiakastarpeiden aiheuttamat vaatimukset ja geneeristen elementtien sisältö toimivat ohjaavina tekijöinä näissä käytettävillä osilla ja kokoonpanoilla. Näitä käytetään osana perusteista suunnittellessa lopullista arkkitehtuuria testauslaitteistolle.

Tässä vaiheessa tarvitaan tietoa askeleen kaksi geneerisistä elementeistä ja osista/kokoonpanoista sekä askeleen neljä tietoa asiakaskontekstista. Määrittely aloitetaan selvittämällä muuntelun tarpeeseen vaikuttavat pääasiakastarpeet, geneeriset elementit ja järjestelmän osat. Tämän jälkeen määritetään riippuvuudet asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välillä sekä relaatiot geneeristen elementtien ja osien välillä. Näiden lisäksi selvitettiin mahdollisuudet standardisointiin selvittämättä yhteneväisyyksiä. Kuvassa 50 on nähtävissä asiakasvaatimukset oikealla ja geneeriset elementit pääkokoonpanoineen vasemmalla.



**Kuva 50.** Muokattu PFMP.

Tuloksina tästä vaiheesta ovat relaatiot geneeristen elementtien ja osien välillä, mahdollisuudet eri osien standardisointiin, yleisten elementtityyppien huomioon ottaminen ja alustava tuoteperhekuvaus. Tuloksia tarvitaan konfiguraatietiedon määrittämisessä askeleessa kuusi ja moduulien sekä rajapintojen määrittämisessä askeleessa seitsemän. Osat ja kokonpanot kuvataan suhteellisen yleisellä tasolla, jotta tämä esitys ei laajenisi turhaa, varsinkin kun lopullinen komponenttirakenne ei ole vielä tiedossa. Tärkeä osa tätä vaihetta on näiden välisien relaatioiden tunnistaminen ja esittäminen. Tässä päästiin käsiksi

myös mahdollisiin haasteisiin ja epäkohtiin toteutuksessa. Standardisointi oli tässä vaiheessa ajatuksena taustalla.

## 6.6 Alustavan konfiguraatitiedon määrittäminen

Askel kuusi on aloituspiste lopulliselle konfiguraatitiedolle. Askeleessa tutkittiin, onko olemassa lähestymistapoja, jotka voisivat helpottaa alustavan konfiguraatitiedon määrittelyä. Tässä käytettiin Pakkasen (2015) ehdottamaa modifioitua K-matriisia. Syötteenä oli kakkosaskeleessa muodostettu tieto geneerisistä elementeistä. Tämän lisäksi käytettiin nelosaskeleessa muodostettua käsitystä asiakkaiden prosesseista ja toimintatavoista liittyen tuotteen käyttöön. Askel aloitettiin määrittelemällä geneeriset elementit matriisiesitykseen asiakaskontekstin optioiden kanssa ja analysoitiin relaatioita näiden välillä. Tuloksena askeleessa saatiin alustava konfiguraatitieto, joka selventää relaatiota geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välillä. Tuloksien pohjalta luotiin modulaarisen arkkitehtuurin määritelmä askeleessa seitsemän. Tämä sisältää moduulit ja rajapinnat. Tämän lisäksi tietoja tarvitaan askeleen kahdeksan konfiguraatitiedon määrittelyssä moduulimuunnelmia ja asiakastarpeita käyttäen.

PFMP-tyylinen lähestyminen geneeristen elementtien ja asiakasvaimusten välisien suhteiden arvioimiseen ja alustavan konfiguraatitiedon luomiseen (Kuva 51).

|                                       | Asiakastarpeet | Nostokoneiston pääty |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
|---------------------------------------|----------------|----------------------|----------|----------|----------|---------|-----------|-------------|---------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
|                                       |                | Pääty A1             | Pääty A2 | Pääty B1 | Pääty B2 | Pääty C | Telamitta | 0mm - 500mm | 500+ mm | Käyden tyyppi | Tyyppi A1 | Tyyppi A2 | Tyyppi B1 | Tyyppi B2 | Nostomoottori |
| (1) asiakasvaatimus tarvitsee         |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| (2) asiakasvaatimus poissulkee        |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| (3) asiakasvaatimus saattaa vaikuttaa |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Geneeriset elementit                  |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Geneerinen elementti 1                |                | 1                    |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Vastakoneikko                         |                |                      |          |          |          | 1       |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Koneiston kiinnitys 1/4               |                | 1                    |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Koneiston kiinnitys 2/4               |                |                      | 1        |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Koneiston kiinnitys 3/4               |                |                      |          | 1        |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Koneiston kiinnitys 4/4               |                |                      |          |          | 1        |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Päätyrungot 1/2                       |                | 1                    | 1        |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Päätyrungot 2/2                       |                |                      |          | 1        | 1        |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Geneerinen elementti 2                |                |                      |          |          |          |         | 1         |             |         | 1             |           |           |           |           |               |
| Dynaaminen etäisyyden lukitus         |                |                      |          |          |          |         |           | 1           | 1       |               |           |           |           |           |               |
| Lisätuuletin                          |                |                      |          |          |          |         |           | 1           |         | 1             | 1         |           |           |           |               |
| Geneerinen elementti 3                |                |                      |          |          |          |         |           |             |         | 1             |           |           |           |           | 1             |
| Taittopyörä 1/2                       |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               | 1         | 1         | 3         | 3         |               |
| Taittopyörä 2/2                       |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               | 3         | 3         | 1         | 1         |               |
| Vastajousto                           |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           | 1             |
| Geneerinen elementti 4                |                |                      |          |          |          |         |           |             |         | 1             |           |           |           |           |               |
| Virransyöttö                          |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           | 1             |
| Ohjauksen parametrit                  |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               | 1         | 1         | 1         | 1         |               |
| Geneerinen elementti 5                |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Runko                                 |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| MV paketti                            |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Vastatela                             |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Lukulaite                             |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |
| Turvajousto                           |                |                      |          |          |          |         |           |             |         |               |           |           |           |           |               |

**Kuva 51.** Muunneltu K-matriisi geneerisistä elementeistä ja muuntelua aiheuttavista asiakastarpeista.

Määritellessä konfiguraatiotietoa ja tarkastellessa erilaisia relaatioita tarkemmin, huomattiin, että köyden ominaisuuksilla on vaikutusta useampaan geneeriseen elementtiryhmään. Nämä relaatiot eivät olleet niin selkeitä ja tulivat kunnolla esille vasta, kun koottiin konfiguraatiotietoa tarkemmin ja tutkittiin ohjauksen parametrien vaikutuksia järjestelmään. Näihin parametreihin liittyvät asiat eivät ole tulleet aikaisemmissa laitteistoissa esille, mutta nämä jäivät kiinni seuratussa Brownfield-prosessissa. Tämä johti lopullisen geneerisen elementtijaon muutokseen, sillä Brownfield-prosessissa lähtökohtaisesti halutaan pitää muuntelua aiheuttavat tekijät yhden geneerisen elementin sisällä.

## **6.7 Moduulien ja rajapintojen määrittäminen**

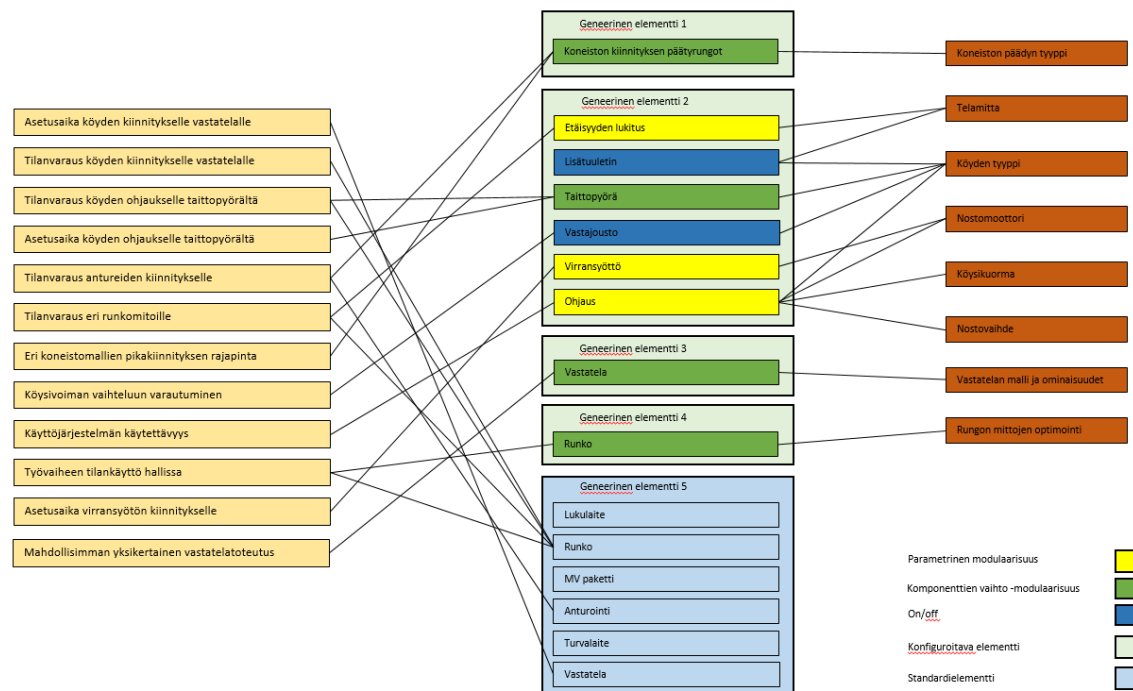
Seitsemännessä askeleessa määriteltiin lopullinen moduuli- ja rajapinta-arkkitehtuuri. Tässä kohtaa osuus rajoittui paranneltuun malliin askeleen kolme elementeistä ja rajapinnoista. Elinkaarimodulaarisuus tulee esille tapauksessa, sillä tuotteella on kaksi eri modulaarisuuden vaihetta, prototyyppivaihe ja lopullisen laitteiston vaihe. Prototyyppivaiheessa on tarkoitus testata joitain ominaisuuksia, kuten erilaista telanuramallia ja tarvittavaa vapaata etäisyyttä köydelle. Vapaan etäisyyden määrä vaikuttaa siihen, kuinka ison pinta-alan testauslaitteisto vaatii. Tässä vaiheessa määriteltiin moduulien laatu eli ovatko ne parametrisesti vaihto- ym. modularisointia. Askelia kahdeksan ja yhdeksän varten työssä muodostui perustiedot. Askeleen kymmenen liiketoiminta-analyysi rajattiin työstä pois.



## 7. TULOKSET

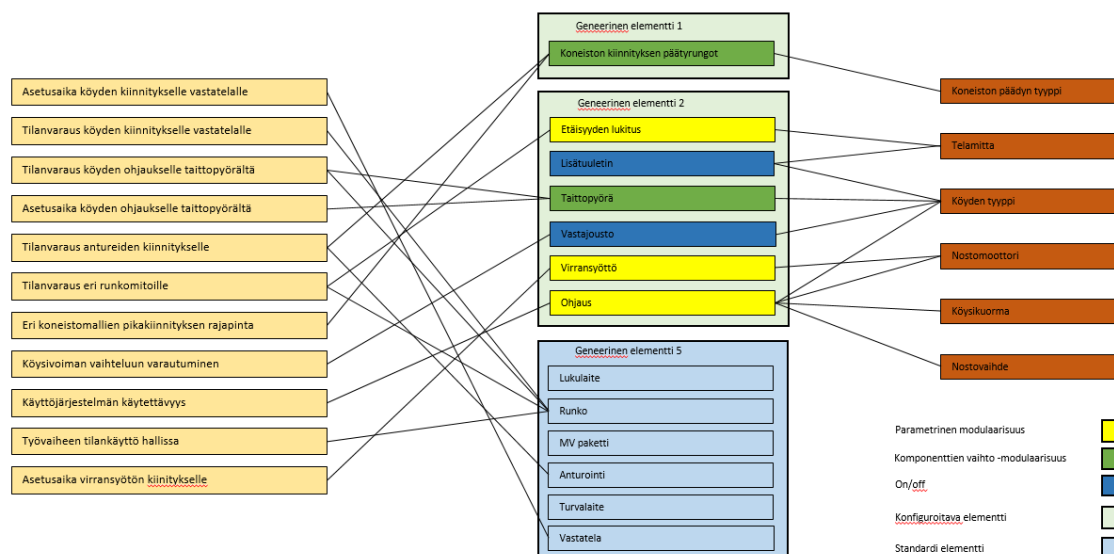
Työn tuloksena saatiin luotua alustava kuvaus arkkitehtuurista ja moduulien elementtijaosta. Saatiin selvitettyä keskeiset suunnittelua ohjaavat perusteet ja näiden relaatiot testauslaitteiston eri geneerisiin elementteihin ja moduuleihin. Tämän lisäksi saatiin selvitettyä asiakaskysymysten relaatiot modulaariseen tuoterakenteeseen.

Tavoitteena oli jakaa geneeriset elementit muuntelun aiheuttajien perusteella niin, että yhden muuntelun aiheuttajan vaikutukset pysyvät yhden elementin sisällä. Laitteen köysi osoittautui kuitenkin jakamaan toiminnallisen rajapinnan usean eri kokoonpanon kanssa, joten lopullisessa geneerisessä elementtijaossa päästiin vain kolmeen elementtiin, joista kaksi sisältää modulaarisuuden erilaisia piirteitä ja yksi on niin sanottu perusosa, joka on jokaisessa testausilanteessa sama.



**Kuva 52.** Protovaiheen tuotteen jäsentämisperusteet, geneeriset elementit ja muuntelua aiheuttavat asiakaskysymykset.

Kuvassa 52 on nähtävissä lopullinen protovaiheen elementtirakenne muuntelunaiheuttajineen ja suunnitteluperusteineen. Tuotteen elinkaaren aikaiset vaihtuvat modulaarisuuden tarpeen johtivat prototyyppivaiheen omaan geneeriseen elementtirakenteeseen. Tässä tuoterakenteessa on perusosa ja neljä asiakastarpeiden perusteella parametrisesti muunneltavaa elementtiä.



**Kuva 53.** Lopullinen tuotantoversio.

Elementtirakenteessa pyrittiin rajaamaan geneeriset elementit mahdollisimman moneen ryhmään siten, että jos jossakin asiakastarpeessa tapahtuu muutosta, niin uudelleensuunnittelu pysyy minimissä. Brownfield-prosessin edetessä huomattiin kuitenkin, että köyden tietyt ominaisuudet jakoivat muuntelun tarvetta myös useamman geneerisen elementin välillä. Lopulta päädyttiin siis kuvan 52 ja 53 mukaisiin geneerisiin elementtirakenteisiin. Lopullisen tuotantoversion etäisyyden lukitus on suoraan yhteydellä telamittaan ja voitaisiin mahdollisesti käsitellä omana geneerisenä elementtinään, sillä vaikka telamitta vaikuttaa lisätuulettimen tarpeeseen, dominoivana parametrina tässä on selkeästi köyden tyyppi, vaikka myös telamitta vaikuttaa. Tässä tuoterakenteessa on perusosa ja kaksi asiakastarpeiden perusteella parametrisesti muunneltavaa elementtiä.

Suunnitteluperusteet ovat:

- Asetusaika köyden kiinnitykselle vastatelalla: Köyden kiinnitys vastatelalle tulee olla nopea ja helppo toimenpide.
- Tilanvaraus köyden kiinnitykselle vastatelalle: Laitteiston arkkitehtuuria suunniteltaessa pitää ottaa huomioon, että köyden kiinnitys vastatelalle pystytään aina tekemään ergonomisesti ja helposti.
- Tilanvaraus köyden ohjaukselle taittopyörälle: Köyden ohjaaminen taittopyörän kautta joudutaan tekemään jokaisessa testausprosessissa.
- Asetusaika köyden ohjaukselle taittopyörän kautta: Tähän käytettävän ajan minimoiminen on tärkeää, koska vaiheajat ovat kriittisiä arvonluonnin kannalta.
- Tilanvaraus koneiston antureiden kiinnitykselle: Testattavan koneistoon kiinnitetään mahdollisesti testausprosessin aikana värinää mittaava anturointi. Anturointi

on todennäköisesti magneettipikakiinnityksellä toteutettu ja sitä varten tulee päätykiinnityspukeissa olla tarvittava asennustila.

- Tilanvaraus eri runkomitoille: Testattavia koneistoja voi olla useilla eri runkomitoilla, vaikka suurin osa testattavista rungoista on todennäköisesti noin välillä 300-800mm. Tämän lisäksi mahdollisen myöhemmän skaalautuvuuden mahdollistaminen erikoisilla runkomitoilla.
- Eri koneistomallien pikakiinnityksen rajapinta: Koneistojen päätyjä tunnistettiin kahta eri kokoluokkaa ja näistä kokoluokista on näillä näkymin tulossa kaksi eri kiinnitystapaa, jotka vaikuttavat vaatimuksiin koneiston kiinnityksestä testauslaitteistoon. Näistä on alle puolesta olemassa.
- Köysivoiman hetkittäiseen vaihteluun varautuminen: Tiedetyt testattavan nostokoneiston moottorin parametrit vaikuttavat testauslaitteistoon niin, että joudutaan mahdollisesti varautumaan vastakoneiston ja testattavan koneiston moottorien hetkellisestä vaihe-erosta johtuvaan köyden hetkelliseen löystymiseen. Köyden löystymisen lisäksi tulee varautua köyden hetkelliseen kiristymiseen. Koeajotilanteissa köysivoima voi nousta hetkellisesti lähelle kaksinkertaista nimellisvoimaa. Tähän tulee varautua tarvittavalla varmuuskertoimella köyden kiinnitykselle sekä tarjoamalla järjestelmään niin sanottu turvajousto. Turvajoustoon todettiin parhaaksi vaihtoehdoksi kaasutoimiset sylinterit mahdollistamaan taittopyörän liikkumisen tietyn köysivoiman ylittyessä. Etuna tässä on, että sylinterissä ei tapahdu yhtään liikettä ennen kuin rajavoima on saavutettu eikä tällöin häiritse normaalitilanteessa ohjauksen toimivuutta.
- Käyttöjärjestelmän käytettävyyt: Parametrien luku käyttöjärjestelmään työmääräimeltä ja komponenttien tunnistetarroilta ja tätä kautta yksinkertainen ohjelmiston automaattinen parametrisointi.
- Työvaiheen tilankäyttö hallissa: Tehdashallin tila on rajallinen, mutta tähän ei suoraan vielä ole rajaehdotuksia, sillä tuotannon layout muuttuu vielä hyvin todennäköisesti ennen kuin uutta tuoteperhettä päästään ajamaan tuotantoon. Tavoitteena on kuitenkin päästä pienempään lattiapinta-alaan, kuin edeltäjillä.
- Asetusaika ja sijoittelu virransyötön ja ohjauksen kiinnittämiseksi: Testattavan nostimen ohjaus ja virransyöttö kiinnitetään testauslaitteistolla tuotteelle ja näiden järkevä sijoittelu ja yksinkertaistaminen mahdollisimman pitkälle ovat tärkeitä. Tutkimuksessa ei sinänsä käsitelty tarkemmin näiden rajapintoja, vaan ne rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Prosessi ei suoraan tarjoa keinoja teknisten toteutusten hallintaan, mutta prosessin aikana suunnittelun perusteeksi nousi tarve toteuttaa koneiston kelkkojen ja taittopyörän kiinnitys sivuttaissuunnassa liikkuvaksi, johtuen joidenkin testaustoimenpiteiden laadusta. Tämä toteutetaan käyttämällä lineaarisia johteita ja kuularuuvia taittopyörän ohjaukseen sekä kelkkoja, joihin koneisto kiinnitetään liikkumaan lineaarijohteilla taittopyörän ohjaamana köyden välityksellä.

Asiakaskysymysten aiheuttamissa muuntelutarpeissa tunnistettiin:

- Koneiston päädyn tyyppi: Koneiston päätyjä todettiin olevan lopullisessa tuoteperheessä kahta eri kokoa, joihin tulee kahden erityyppistä kiinnitysmahdollisuutta. Täten pitää siis varautua muuntelemaan testauslaitteistoa näiden varianttien perusteella. Koneiston päädyn mallin merkittäviinkin vaihteluihin varaudutaan samalla lisäämällä pikakiinnityksellinen rajapinta päätyjen kiinnityksen ja rungon välille.
- Telamitta: Telamitta vaihtelee testattavissa laitteistoissa. Määrittelimme raja-arvoksi 1600mm pitkän telamitan testauslaitteiston ylärajaksi. Tämä tarkoittaa käytännössä, että testattavan koneiston päätykiinnityspukit pitää pystyä kiinnittämään nostimeen dynaamisella etäisyydellä. Tämä mitta voi erikoistapauksissa muuttua, joten yliskaalautuminen on suositeltavaa näissä teknisessä ratkaisussa.
- Köyden tyyppi: Köydestä on olemassa kahta eri paksuusluokkaa ja köysien materiaalit vaihtelevat, aiheuttaen muuntelun tarvetta taittopyörän uran laadulle, ohjaukselle ja vastajoustolle. Mahdollisesti köyden tyyppi aiheuttaa mahdollisen tarpeen nostomoottorin lisäjähdytykselle tietyillä konfiguraatioyhdistelmillä.
- Nostomoottorin tyyppi: Nostomoottorin tyyppi vaikuttaa testauslaitteiston ohjauksen parametrisointiin ja virransyötön valintaan. Johtuen globaalista asiakas ympäristöstä ja laajasta käyttöalueesta, nostimien virtaparametrit vaihtelevat, aiheuttaen tarvetta erilaisille virransyötöille.
- Köysikuorma vaikuttaa testausprosessin ohjauksen parametrisointiin.
- Nostovaihteen tyyppi vaikuttaa testausprosessin ohjauksen parametrisointiin.

Geneeristen elementtien sisäiset rajapinnat tulee myös määritellä selkeästi, jotta myöhempi laitteiston päivittäminen on helppoa. Jatkotutkimuksena tuoterakenteeseen voisi liittyä loppujen tuotevarianttien määrittämisen ottamisen Brownfield-prosessin mukaiseen tarkasteluun. Laitteistoon liittyvää jatkotutkimusta voisi olla tiettyjen moduulien rajapintojen kehittäminen lyhyet asetusajat huomioiden. Tämän lisäksi voisi tutkia mahdollisuudet kehittää tuotteeseen kiinnitettävän jigin, jota voitaisiin käyttää tuotantoprosessin useammassa vaiheessa siten, että se kulkee koneiston päädyissä kiinni alusta loppuun. Tällöin koneistojen siirtämisessä eri vaiheiden välillä voitaisiin hyödyntää tehokkaampia työkaluja, kuin nykyinen manuaalinen nosto nostimella.

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää testauslaitteistolle modulaarisuuden tukema jakologiikka sen eri moduulielementeille. Tämän lisäksi tavoitteena oli yksi testauslaitteisto, joka pystyy hallitsemaan kaikkia asiakasympäristön aiheuttamia vaatimuksia. Nämä tavoitteet saavutettiin hyvin. Tutkimuksen tuloksien pohjalta lähdettiin mallintamaan kyseistä testauslaitteistoa.

Tapaustutkimus soveltui hyvin tapaukseen, joka oli kvalitatiivinen pienestä aineistosta koostuva tutkimus. Tutkimuksen etenemistä rajoitti jossain määrin laitteistolla testattavan laitteiston lopullisen konfiguraatietiedon puute. Halutut testattavat toiminnallisuudet saatiin selville hyvin nykyisin käytössä olevasta tuoteperheestä. Ongelmia aiheutti kuitenkin osa koeajolaitteiston ja testattavan tuotteen välisistä rajapinnoista ja näiden hallitsemiseen tarvittavista moduulivarianteista. Tästä syystä osa moduulivarianteista käsiteltiin yleisellä tasolla ja näille määriteltiin lähinnä selkeä rajapinta. Näihin rajapintoihin pystytään myöhemmin lisäämään tarvittavat moduulit. Koneistojen päätykiinnitys on yksi esimerkki tästä ja saattaakin vaatia palaamista rajapinnan määrittelyyn, kun lopullinen koeajettava tuoteperhe on kokonaisuudessaan määriteltä.

Uusien teknisten ratkaisujen validointi aiheutti kysymyksiä, mutta nämä saatiin neutraloitua pääasiassa luomalla protovaiheelle oma moduulirakenne rajapintoineen. Tämä rakenne ei sinänsä tule häviämään tuotantomallista, sillä protomalli tulee siirtymään todennäköiseksi tuotantomalliksi. Tämä tapahtuu, kun uusia teknisiä toteutuksia on päästy testaamaan ja hiomaan kuntoon. Toiminnallisuusperusteinen modularisointi soveltui tähän tutkimusongelmaan ja sillä saavutettiin halutut toiminnot, mutta siitä saavutetut edut olivat tässä tapauksessa mielestäni rajalliset. Geneeriset elementit paisuivat kohtuullisen suuriksi, koska osa muuntelua aiheuttavista tekijöistä jakoi rajapintoja usean eri laitteiston toiminnallisen elementin kanssa. Sinänsä geneeristen elementtien vähydestä ja niiden sisällöllisestä määrästä tapauksessa ei ole haittaa, koska suunniteltuun laitteiston valmistusvolyymit ovat suhteellisen pieniä ja mekaaninen rakenne suhteellisen yksinkertainen. Jos laitteistoon tulee yllättävää muunteluntarvetta, pystytään nämä suuremmatkin geneeriset elementit hallitsemaan kohtuullisen helposti.

## 9. VERTAILU AIEMPIIN TUTKIMUKSIIN

Brownfield-prosessi on vielä suhteellisen uusi ja se kehittyy jatkuvasti, joten menetelmään liittyvät aiemmat tutkimukset rajautuvat melko pieneen määrään. Menetelmän käyttöä opetetaan tällä hetkellä Tampereen Teknillisen yliopiston Tuotekehityksen Modulointi-kurssilla. Tämän lisäksi Lehtonen (2007) on käsitellyt useita uudensuunnitteluun painottuvia Brownfield-prosessiin liittyviä case-tutkimuksia väitöskirjassaan. Tämän lisäksi Pakkasen (2015) väitöskirjassa käsitellään myös kaksi esimerkkitapausta kyseisen prosessin käytöstä.

Lehtosen (2007) väitöskirjassa käsitellään modulaarisen tuoterakenteen suunnittelua uuden tuotteen suunnittelussa. Väitöskirjassa syvennyttään myös CSL-viitekehyksen liiketoimintaympäristöön perustuvaan tavoitteiden määrittämiseen. Väitöskirjassa todetaan, miten tuotteen toimintorakenne lähtöinen esitystapa vaatii iterointia ja lisäksi todetaan, ettei tällainen lähestyminen ole aina oleellista liiketoimintaympäristön näkökulmasta. Tutkimukseni tulokset tukevat näitä toteamuksia, vaikkei tutkimuksessa lähdettykään lähestymään ongelmaa uuden tuotteen suunnitteluna. Tutkimuksessani oli elementtejä, jotka viittasivat uuden tuotteen suunnitteluun ja työtä tehdessä Lehtosen (2007) mainitsema iteroinnin tarpeellisuus ja toimintoperusteisen modularisoinnin tehokkuus. Iterointi johtui tässä tutkimuksessa testauslaitteistolla, ei täysin määritellystä testattavien tuotteiden konfiguraatiotiedoista ja halusta ratkaista tiettyjä ongelmia käyttäen uusia teknisiä ratkaisuja. Lehtosen (2007) esitti väitöskirjassaan esimerkkejä ja sovelluksen V-malliin uuden suunnitteluun. Tässäkin olisi ollut mahdollisesti potentiaalia käsitellä hyvin erilaisia teknisiä ratkaisuita testauslaitteiston toteuttamiseen.

Pakkasen (2015) väitöskirjan tutkimusta käytettiin päälähteenä modulointikurssimateriaalin kanssa, sillä nämä sisälsivät uusinta tietoa kyseiseen prosessiin liittyen. Väitöskirjan esimerkit olivat hyödyllisiä tutkimuksen alkuvaiheessa ja auttoivat prosessin ymmärryksessä. Tutkiessani aiempia tutkimuksia ja diplomitöitä, jotka sivusivat Brownfield-prosessia, huomasin prosessin sisällön kehittyneen suhteellisen nopeasti eikä kaikki tieto ollut enää voimassaolevaa prosessin nykyisessä muodossa.

## 10. YHTEENVETO

Työssä käytettiin onnistuneesti Brownfield-prosessia koeajolaitteiston suunnitteluun. Koeajolaitteiston kattama tuoteperhe ja asiakasvaatimukset muuttuivat tutkimuksen edetessä, joten Brownfield-prosessia ei päästy täysin hyödyntämään alusta asti. Prosessi toimi kuitenkin hyvänä runkona samalla, kun laitteiston vaatimukset selkeytyivät ja prosessin pohjalta tuloksia iteroitiin ja raja-arvoja määriteltiin. Osittain tästä syystä tutkimuksessa käytiin läpi askel neljä heti liiketoimintaympäristöön perustuvan tavoitteiden asetuksen jälkeen. Tämä helpotti ja suoraviivaisti prosessin etenemistä seuraavissa askeleissa.

Olen tyytyväinen työn lopputulokseen, vaikka tähän olisikin mahdollisesti päästy tehokkaammin. Tähän vaikuttivat alussa hieman auki olevat lähtötiedot, joiden takia esiintyi suurempia muutoksia kesken suunnitteluprosessin. Osa muutoksista tuli toki prosessin läpikäynnin kautta esiin tulleiden tuloksien perusteella. Nyt toistamiseen en lähtisi yrittämään ajaa prosessia läpi varsinkaan vajaalla tiedolla Brownfield-prosessilla tarkasteluun valitusta kohderyhmästä. Sinänsä tämä ei aiheuttanut suoranaista haittaa, lukuun ottamatta ylimääräistä työtä ja tästä johtuvaa ajallista hukkaa.

Tilanteet muuttuvat huomattavastikin, mikä tarkoittaa, etteivät asiat välttämättä aina etene ideaalisessa järjestyksessä. Työssä löydettiin kuitenkin vastaukset tutkimuskysymyksiin jakologiikasta ja haluttujen ominaisuuksien saavuttamisesta.

## LÄHTEET

- Andreasen, M.M. 2011. "45 Years with design methodology", *Journal of Engineering Design*, vol. 22, no. 5, 293–332 s.
- Browning, T. 2001. Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(3), 292–306 s.
- Bongulielmi, L., Henseler, P., Puls, Ch. & Meier M. 2002. "The K- & V-Matrix-Method in Comparison with Matrix-Based Methods supporting modular product Family architectures", *Proceedings of NordDesign 2002*, NTNU, Trondheim, Norway, August 14–16, 2002.
- Duffy, S.M., Duffy, A.H.B. & MacCallum K.J. 1995. "A Design Reuse Model". In: *International Conference on Engineering Design*. Praha, 490–804 s.
- Eilmus, S., Gebhardt, N., Rettberg, R. & Krause, D. 2012. "Evaluating a Methodological Approach for Developing Modular Product Families in Industrial Projects", *Proceedings of the International Design Conference - Design 2012*, May 21–24, Dubrovnik, Croatia, 837–846 s.
- Erixon, G. 1998. "Modular Function Deployment – A Method for Product Modularisation", *Dissertation*, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 178 s.
- Harlou, U. 2006. "Developing product families based on architecture – Contribution to a theory of product families", *Dissertation*, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 173 s.
- Juuti, T. 2008. "Design Management of Products with Variability and Commonality - Contribution to the Design Science by elaborating the fit needed between Product Structure, Design Process, Design Goals, and Design Organisation for Improved R&D Efficiency", *Väitöskirja, Julkaisu 789*, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, 155 s.
- Juuti, T. 2017. Engineering design and design reasoning - the key to product value creation and capture. *Julkaisematon esitys*.
- Konecranes 2014. [viitattu 16.5.2018] Saatavissa: <http://www.konecranes.com/resources/media/releases/2014/konecranes-received-major-order-for-monorails-with-cxt-hoists-jib-cranes-and-chain-blocks-from>.
- Lehtonen, T. 2007. "Designing Modular Product Architecture in the New Product Development", *Väitöskirja, Julkaisu 713*, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, 220 s.



Juuti, T., Lehtonen, T. & Pakkanen, J. Luentokalvot: Modulointi 2018, Tampere, Tampereen Teknillinen Yliopisto.

Nummela, J. 2006. "Integrated Configuration Knowledge Management by Configuration Matrices – A Framework for Representing Configuration Knowledge", Väitöskirja, Julkaisu 589, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, 205 s.

Oja, H. 2008. "Value in Conceptual Design Context", Proceedings of NordDesign 2008, August 21-23, Tallinn, Estonia.

Oja, H. 2010. "Incremental Innovation Method for Technical Concept Development with Multi-Disciplinary Products", Väitöskirja, Julkaisu 868, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, 126 s.

Orgot, M. 2005. EMS Models: Adaptation Of Engineering Design Black-Box Models For Use In TRIZ.

Pakkanen, J. 2015. "A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family", Väitöskirja, Julkaisu 1299, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, 270 s.

Perera, H.S.C., Nagarur, N. & Tabucanon, M.T. 1999. "Component part standardization: a way to reduce the life-cycle costs of products", International Journal of Production Economics, vol. 60, 109–116 s.

Pimmler, T.U. & Eppinger, S.D. 1994. Integration analysis of product decompositions. ASME Design Theory and Methodology Conference. Minneapolis, 1994.

Simpson T.W., Siddique, Z. & Jiao J.R. 2006. PRODUCT PLATFORM AND PRODUCT FAMILY DESIGN PRODUCT PLATFORM AND PRODUCT FAMILY DESIGN Methods and Applications, Springer Science+Business Media, USA, 527 s.

Zainal, Z. 2007. Case study as a research method. Jurnal Kemanusiaan. 9.